भौतिकी शास्त्रातील नेबेल पारितोषिक विजेते

भाग २

अनुवादक : चं. रा. तळपदे





महाराष्ट्र राज्य साहित्य सस्कृती मंडळ मुंबई

भौतिकी शास्त्रातील नोबल पारितोषिक विजेते

Nobel Prize Winners in Physics 1911-1920

by Niels H. de. V. Heathcote,

या पुस्तकाचा अनुवाद

अनुवादक

चं. रा. तळपदे



महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ

किंमत रुपये १२/-

प्रकाशक :

सचिव महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृतीमंडळ

मंत्रालय, मुंबई - ४०००३२



मूळ इंग्रजी आवृत्तीचे प्रकाशक :-
Henry Schuman, New York



मुद्रक :

श्री. प. म. महाबळ

प्रभा प्रेस, (प्रिंटर्स)

६५५, 'गणेश प्रसाद' गणपती पेठ,

सांगली ४१६ ४१६

निवेदन

डॉ. चं. रा. तळपदे यांनी अनुवादित केलेल्या " भौतिक शास्त्रातील नोबेल पारितोषिकाचे मानकरी " (सन १९०१ ते १९५०) या पुस्तकाच्या पहिल्या भागाचे प्रकाशन करण्याचा आज योग येत आहे. या पुस्तकाचे प्रकाशन एकूण पाच भागात होणार असून त्यापैकी इ. स. १९११ ते १९२० या काळातील भौतिक शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेत्यांचा अल्पपरिचय व त्यांच्या ज्या संशोधनास नोबेल पारितोषिक मिळाले आहे त्याची थोडक्यात माहिती या भागात करुन देण्यात आली आहे. अन्य चार भागांचे प्रकाशनही अल्पावधीत करण्यात येईल. वाचक या सर्वच पुस्तकांचे स्वागत करतील अशी आशा आहे.

सुरेंद्र बारलिंगे
अध्यक्ष,
महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृती मंडळ.

४२, यशोधन,
मुंबई - ४०० ०२०,
दि. ५ नोव्हेंबर, १९८३.

प्रस्तावना

साधारण पंधरा सोळा वर्षापूर्वी रसायन शास्त्रातील नोबेल पारितोषिक विजेते (१९०१-१९५०) हे माझे पुस्तक पाच भागात प्रसिद्ध झाले. या पुस्तकाचे महाराष्ट्रात जे स्वागत झाले, त्यामुळे उत्तेजन मिळून मी मूलतत्वांचा शोध व रसायनशास्त्राचे कारागीर (भाग १ ते ६) ही पुस्तके लिहिली व ती व्हीनस प्रकाशनाने प्रसिद्ध केली. या दोन पुस्तकास महाराष्ट्र साहित्य व संस्कृती मंडळाचा पुरस्कारही मिळाला. रसायनशास्त्राचा भौतिकीशास्त्राशी फार जवळचा संबंध आहे. प्राध्यापक म्हणून भौतिकी रसायनशास्त्र शिकवत असता त्यातील काही विषय भौतिकीशास्त्रात मोडत असल्याचे आढळून येत होते. त्यामुळे भौतिकीशास्त्रातील नोबेल पारितोषिकांचे विजेते असे पुस्तक लिहावे हा विचार माझ्या मनात बरेच दिवस घोळत होता. पण पुस्तकाच्या लेखनास अवश्य तितका वेळ मिळत नव्हता. १९७५ साली प्राध्यापकीय कामातून मुक्त झाल्यानंतर भरपूर मोकळा वेळ मिळू लागला. त्यावेळी भौतिकीशास्त्राचा पुन्हा नव्याने अभ्यास करून या पुस्तकाच्या लेखनास हात घातला. सुदैवाने याच विषयावरचे नील्स अेच्. डी. व्ही. हीथकोट यांचे पुस्तक (न्यूयॉर्कच्या हेन्री शुमन कंपनीने प्रसिद्ध केलेले) हाती आले. ते पुस्तक वाचून अभ्यासल्यावर स्वतंत्र वेगळे पुस्तक लिहिण्याऐवजी, त्याच पुस्तकाचा अनुवाद करावा असे मी ठरवले. तो अनुवाद तयार केल्यानंतर बरेच दिवस माझ्यापाशीच होता. पुस्तकाची एकंदर पृष्ठसंख्या पाहाता महाराष्ट्रातला प्रकाशक या पुस्तकाचे प्रकाशन हाती घेईल का, अशी शंका वाटू लागली. काही प्रकाशकाबरोबर पत्र व्यवहार करता, ही शंका खरी ठरली. त्यानंतर माझे मित्र प्रो. प. म. बर्वे यांच्या सुचनेवरून हे पुस्तक महाराष्ट्र साहित्य व संस्कृती मंडळ प्रसिद्ध करील का, हे पाहण्याचे मी ठरविले व त्याप्रमाणे पुस्तकाचे हस्तलिखित मंडळाकडे नेऊन दिले. मंडळाने पुस्तक प्रसिद्ध करण्याचे ठरवले व त्याप्रमाणे पुस्तक आता प्रसिद्ध होत आहे. पुस्तकाचे प्रकाशन हाती घेतल्याबद्दल महाराष्ट्र साहित्य व संस्कृती मंडळाचे व त्या मंडळाच्या अध्यक्षांचे आभार मानणे माझे कर्तव्य आहे व ते मी मोठ्या आनंदाने पार पाडत आहे. मंडळाचे अध्यक्ष डॉ. सुरेन्द्र बारलिंगे यानी पुस्तकाचे हस्तलिखित स्वतः वाचून पाहिले आणि नंतरच निर्णय घेतला.

या आधीच्या " रसायनशास्त्रातील नोबेल पारितोषिकाचे मानकरी " या पुस्तकासारखीच या पुस्तकाची रचना आहे. पारितोषिक विजेत्यांचा थोडक्यात परिचय, ज्या कामाबद्दल पारितोषिक मिळाले त्या कामाची माहिती व त्या कामामुळे संशोधनावर व विज्ञानावर झालेला परिणाम अशी या पुस्तकाची साधारण

रचना आहे. मराठी वाचकांच्या हातात अेक जाडजूड ग्रंथ दिल्यास, ती कदाचित बिचकेल व ग्रंथ वाचण्याच्या भरीस पडणार नाही असे वाटून ग्रंथ पाच भागात प्रसिद्ध केला आहे. १९०१ ते १९५० या पन्नास वर्षांच्या कालखंडाचे दहा वर्षांचा एक असे पाच कालखंड कल्पून प्रत्येक कालखंडासाठी एक भाग, अशा तऱ्हेने पाच भागात हे पुस्तक प्रसिद्ध होत आहे. या पुस्तकात पारितोषिक विजेत्यांच्या चरित्रावर विशेष भर दिलेला नाही. ज्या कामाबद्दल पारितोषिक मिळाले, त्या कामाची माहिती देण्यावरच भर दिला आहे. पारितोषिक वितरणाचा समारंभ दर वर्षी स्वीडनमध्ये होतो. त्यावेळी पारितोषिक विजेता समारंभस्थळी जमलेल्या विद्वान मंडळीपुढे आपल्या संशोधनाची माहिती देणारे व्याख्यान देतो. संशोधकांची अशी माहितीपूर्ण व्याख्याने पुस्तकरुपाने प्रसिद्ध झाली आहेत. त्या व्याख्यानांच्याच आधारे हीथकोट यानी आपले पुस्तक लिहिल्याने त्या पुस्तकाचाच अनुवाद मी केला आहे. अनुवाद करताना महाराष्ट्र शासनाला मान्य असलेली परिभाषा व त्या शासनाचा पदनाम कोष यांचा मुक्त हस्ताने वापर केला आहे. ज्या ठिकाणी इंग्रजी संज्ञेला मराठी प्रतिशब्द मिळाला नाही, त्याठिकाणी मूळचाच इंग्रजी शब्द ठेवला आहे. किंवा सुचेल तो मराठी प्रतिशब्द दिला आहे.

चरित्राच्या मिषाने विज्ञानविषयाची माहिती सांगता येते व ती वाचताना वाचक कंटाळत नाही असा अनुभव असल्याने, नोबेल पारितोषिक विजेत्यांची चरित्रे सांगायला घेतली आहेत. या चरित्राबरोबर दिलेली माहिती वाचल्यानंतर १९०१ पासून भौतिकीशास्त्राचा विकास कसा होत गेला याचे चित्र डोळ्यासमोर येईल. तसेच मोठमोठे शोध अल्प श्रमानी लागत नाहीत, त्यासाठी अपार कष्ट उपसावे लागतात याबद्दल वाचकांची खात्री होईल.

१९५० नंतर रसायनशास्त्राचा व भौतिकीशास्त्राचा विकास कसा झाला हे समजण्यासाठी १९५१ ते १९८२ च्या नोबेल पारितोषिक विजेत्यांची चरित्रे लिहायला पाहिजेत किंवा एक वेगळा ग्रंथ लिहीला पाहिजे.ते काम कोणातरी तरुण लेखकाने उचलावे अशी इच्छा प्रगट करावीशी वाटते.

अेखादा खाद्य पदार्थ तयार केल्यानंतर, त्याचे केवळ वर्णन करुन भागत नाही, तो खाऊन पाहावा लागतो. तेव्हाच त्याची चव समजते. त्याच न्यायाने हे पुस्तक वाचून पहावे व मग आपले मत बनवावे ही विनंती,

२७-८-१९८३

– चं. रा. तळपदे

□

अनुक्रमणिका

दुसरा खंड



विल्हेल्म वीन



नील्स गुस्टाफ डालेन



हाईक कामरलिंघ ओन्स



मॅक्स थिओडर फेलिक्स फॉन लावे

१९११

विल्हेल्म वीन

(१८६४–१९२८)

" उष्णता प्रारणाविषयीचे नियम शोधून काढल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

पूर्व प्रशियातील गॅफकेन गावी, १३ जानेवारी १८६४ रोजी एका जमीन–दाराच्या घराण्यात विल्हेल्म वीनचा जन्म झाला. १८६६ मध्ये त्यांचे मातापिता पूर्व प्रशियातील रास्टेनबर्ग शहराजवळील ड्राकेनस्टीन या गावी राहू लागले. त्यामुळे त्याचे शालेय शिक्षण प्रथमतः रास्टेनबर्ग येथील शाळेत व त्यानंतर पूर्व प्रशियाची राजधानी कोनिग्जबर्गमधील अलस्टाट शाळेमध्ये झाले. शालेय शिक्षण झाल्यानंतर, गणित व विज्ञान या विषयांचा अभ्यास करण्याच्या उद्देशाने त्याने १८८२ मध्ये गॅन्टीजेन विद्यापीठात प्रवेश मिळविला. पण सहाच महिन्यानी स्थलांतर करुन तो बर्लिन विद्यापीठात गेला व तेथे त्याने १८८३ ते १८८५ या काळात प्रो. हेल्महोल्ट्झ यांच्या मार्गदर्शनाखाली अभ्यास व संशोधन करून १८८६ मध्ये त्याने डॉक्टरेट मिळविली.

डॉक्टरेट मिळविल्यानंतर पुढे संशोधन करण्याची इच्छा असूनही, घरच्या जमीनदारीच्या कामात वडीलाना मदत करण्यासाठी, त्याला घरीच स्वस्थ राहावे लागले. त्यामुळे १८८६ ते १८९० या चार वर्षात त्याला फक्त चार एक महिने प्रोफेसर हेल्महोल्ट्झच्या प्रयोगशाळेत संशोधन करणे शक्य झाले. १८९० मध्ये आपला जमीनजुमला विकून, तो बर्लिनला संशोधन करण्याच्या उद्देशाने परतला·

तोपर्यंत फिझिकालिश टेक्निश रिकसान्स्टाल्टच्या किंवा सरकारी तांत्रिक विद्यालयाच्या संचालकपदावर प्रो. हेल्महोल्ट्झची नियुक्ती झाली होती. या विद्यालयात १८९२ पर्यंत त्याने हेल्महोल्ट्झचा सहाय्यक म्हणून संशोधन केले. १८९२ मध्ये त्यास बर्लिन विद्यापीठात अध्यापक नेमण्यात आले. १८९६ मध्ये त्यास आकेनमधील टेक्निकल हायस्कूलमध्ये भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्यात आले.१८९९ मध्ये तो गीसेन विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून गेला. पण एकच वर्षात ते विद्यापीठ सोडून, त्याने वुर्झबर्ग विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचे अध्यापन करायला सुरवात केली. तेथील प्रख्यात प्राध्यापक रॉन्टजेन म्युनिचला गेल्यानंतर, त्यांच्या जागेवर वीनची नियुक्ती झाली होती. वुर्झबर्ग विद्यापीठात, वीन १९२० पर्यंत राहिला. १९२० मध्ये प्रो. रॉन्टजेन म्युनिच विद्यापीठातून कार्यनिवृत्त झाल्याने, वीनची त्यांच्या जागेवर नियुक्ती करण्यात आली. तेव्हापासून ३०ऑगस्ट १९२८ रोजी परलोकवासी होईपर्यंत तो म्युनिचमध्येच होता.

धातुंच्या तीक्ष्ण कडांच्या जागी प्रकाशाचे वक्रीभवन व वक्रीभवन झालेल्या प्रकाशाच्या रंगावर धातूकडांच्या वैशिष्ठ्याचा परिणाम हा त्याने डॉक्टरेट पदवीसाठी लिहिलेल्या संशोधन ग्रंथाचा विषय होता. त्यानंतर त्याने केलेल्या संशोधनाचे दोन विभाग पडतात. बर्लिनमध्ये असताना म्हणजे १८९० ते १८९६ या काळात तो उष्णता प्रारणा संबंधीच्या संशोधनात गुंतला होता. मोकळ्या अवकाशातील प्रारणाला तपमानाचा विचार कसा लावता येईल याविषयीची तात्त्विक विचारसरणी त्याने बसविली व उच्च तपमान थर्मो–अिलेक्ट्रिक पद्धतीने कसे मोजायचे या विषयी प्रयोग केले. १८९३ मध्ये त्याचा वितरणाविषयीचा नियम प्रसिद्ध झाला व याच संशोधनाबद्दल त्यास नोबल पारितोषिक मिळाले.

हे कार्य चालू असताना, प्रो. हेल्महोल्ट्झ यांच्या बरोबर काही काळ संशोधन केल्या कारणाने, त्याने हायड्रोडायनॅमिक्स विषयीच्या विविध प्रश्नासंबंधीही संशोधन केले. १८९६ मध्ये आकेन विद्यापीठात गेल्यानंतर, १९२८ साली मृत्यू होईपर्यंत त्याने अतिशय कमी दाबाखालील वायूतून विद्युत विसर्जन या विषयावर संशोधन केले. प्रकाशाविषयी त्याने केलेल्या संशोधनाइतकेच हे संशोधन महत्वाचे आहे आकेन विद्यापीठात असताना, गोल्स्टीनने शोधून काढलेल्या कॅनाल किरणाविषयी संशोधन करायला त्याने सुरवात केली. कॅनाल किरणावर चुंबकीय क्षेत्राचा व विद्युतक्षेत्राचा परिणाम या विषयावर १८९६ मध्ये त्याने जर्मन फिजिकल सोसायटीला अेक संशोधन निबंध सादर केला. कॅथोड किरणावरील विद्युतभार व

त्यांचा भार यांचे परस्पर प्रमाण विद्युतविभाजनाच्या वेळी मिळणाऱ्या हायड्रोजन अयनावरील विद्युतभार व अयनाचा भार यांच्या परस्परप्रमाणाच्या जवळ जवळ दोन हजारपट असते तरी कॅनाल किरणांच्या बाबतीत तेच प्रमाण बरेच कमी असते असे त्याने सिद्ध केले होते. त्यानंतर वुर्झबर्ग येथे केलेल्या संशोधनात, विद्युतविसर्जन नलिकात अत्यंत अल्प प्रमाणात असलेल्या वायूचे धनविद्युतभारवाही अणू म्हणजे कॅनाल किरण होत असे त्याने सिद्ध केले. क्ष किरणांची तरंग लांबी किती असावी याचा बराचसा बरोबर अंदाज त्याने प्रथमतः केला. कॅथोड निर्मितीला अवश्य ती ऊर्जा व क्ष किरण निर्मितीला अवश्य ती ऊर्जा यांच्या परस्पर-प्रमाणावरुन त्याने क्ष किरणांचा तरंगलांबीचा अंदाज केला होता.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

वीनचे प्रारणाविषयीचे संशोधन दोन परस्पराशी संलग्न प्रश्नासंबंधी होते. स्पेक्ट्रममधील किंवा वर्णपंक्तीमधील उष्णता ऊर्जेचे वितरण व तपमानातील फर-काचा त्या उर्जेच्या वितरणावर होणारा परिणाम हे ते दोन प्रश्न होत. या दोन प्रश्नापैकी दुसऱ्या प्रश्नात त्याने विशेष लक्ष घातले. थर्मोडायनॅमिक्समध्ये किंवा उष्मगतीकशास्त्रात मान्य झालेली तात्त्विक विचारसरणी त्याने या प्रश्नाचा उलगडा करण्यासाठी वापरली व स्थिर तपमानाला असलेल्या सीमित घनफळा-तल्या विकिरणाना ती लावली.

प्रकाशाशी सहयोगी असलेले किंवा नसलेले विकिरण एखाद्या पृष्ठभागावर पडल्यास, त्यातील काही विकिरण परावर्तित होतात, काहींचे शोषण होते व काहींचे प्रेषण होते. विकिरण ज्यावर पडतात, तो पृष्ठभाग खडबडित असल्यास परावर्तित विकिरण विखुरतात किंवा त्यांचे सर्व दिशांनी परावर्तन होते. पृष्ठभागावर पडणाऱ्या विकरणापैकी कितींचे शोषण होईल व कितींचे परावर्तन होईल हे त्या पृष्ठभागाच्या वैशिष्ठ्या वर अवलंबून असते. धातूचा पृष्ठभाग अतिशय चकचकित व सपाट पृष्ठभाग असल्यास, त्यावर पडणाऱ्या विकिरणापैकी बऱ्याचशा विकिरणांचे परावर्तन होते व फारच थोड्यांचे शोषण होते. त्याउलट काजळीवर पडणाऱ्या विकिरणापैकी फारच थोड्यांचे परावर्तन होते व बहुतेकांचे शोषण होते. शिवाय प्रकाशाच्या तरंगलांबी-प्रमाणे पृष्ठभागाची प्रकाशकिरण शोषणाची शक्ती बदलत असते. लालपदार्थ आपल्या डोळ्याना लाल दिसतो याचे कारण तो पदार्थ लाल प्रकाशलहरी-

पेक्षा नील प्रकाशलहरींचे जास्त शोषण करतो व लाल प्रकाशलहरी जास्त करून अशा पदार्थाच्या पृष्ठभागावरुन परावर्तित होत असतात. प्रकाशलहरी विषयीचा हा विचार कृष्ण विकिरणानाही लावता येतो. ज्या विकिरणांचा प्रकाशनिर्मितीशी संबंध नाही त्याना कृष्ण विकिरण असे म्हणतात. स्थिर तपमानाला असलेल्या एखाद्या पृष्ठभागावर जितके विकिरण पडत असतात, तितकेच विकिरण त्या पृष्ठ–भागापासून बाहेर पडत असतात. म्हणजे पृष्ठभागात शोषणशक्ती जास्त असल्यास अशा पृष्ठभागाची उत्सर्जनशक्तीही तितक्याच प्रमाणात मोठी असते. पृष्ठभागाची शोषणशक्ती सर्वच प्रकाशलहरींच्या बाबतीत सारखी नसल्याने, ज्या विशिष्ठ प्रकाशलहरींचे चांगले शोषण होते, त्याच प्रकाशलहरींचे उत्सर्जन होते. सर्व प्रका–रच्या प्रकाशलहरींचे उत्तम शोषण करणारी काजळी सर्व प्रकारच्या प्रकाशलहरींचे उत्तम प्रकारे उत्सर्जन करु शकते. परंतु कोणताही पृष्ठभाग अगदी काजळीचासुद्धा–त्यावर पडणाऱ्या सर्व किरणांचे पूर्ण शोषण करु शकत नाही. त्यावर पडणाऱ्या काही किरणांचे परावर्तन होतेच होते.

पृष्ठभागाची प्रकाशशोषणशक्ती व प्रकाश उत्सर्जनशक्ती यांचा तात्त्विक अभ्यास करुन गुस्ताव किरचॉफने आदर्श कृष्ण पदार्थाची कल्पना रुढ केली पदार्थावर पडणाऱ्या सर्वच्या सर्व किरणांचे जो शोषण करतो व ज्याच्या पृष्ठभागावरुन किरणांचे मुळीसुद्धा परावर्तन होत नाही अशा पदार्थाला आदर्श कृष्ण पदार्थ म्हणावे अशी किर्चॉफची व्याख्या होती. किर्चॉफच्या व्याख्येत बसणारा आदर्श कृष्ण पदार्थ अस्तित्वात असल्यास, तो सर्व तरंगलांबीच्या प्रकाश किरणांचे उत्सर्जन करु शकेल. आदर्श कृष्ण पदार्थांचा तात्त्विक दृष्ट्या विचार करुन, किर्चॉफने असे दाखवून दिले की सर्व बाजूनी सीमित पोकळीच्या सीमा किंवा बाजू अेकाच तपमानास असल्यास, अशा पोकळीस आदर्श कृष्ण पदा–र्थाचे गुणधर्म प्राप्त होतात. त्यानंतर त्याने असेही सिद्ध केले की अशा पोकळीतील काशाच्या तरंगलांबींची विभागणी पोकळीच्या सीमांच्या तपमानावर अवलंबून असते व ती पोकळी कोणत्या पदार्थात आहे त्या पदार्थाचा प्रकाशाच्या तरंग–लांबीच्या विभागणीशी कांहीं संबंध नाही.

नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर, वीनने दिलेल्या व्याख्यानात श्रोत्यानी अेक प्रयोग प्रत्यक्ष न करता मनातल्या मनात करुन पहावा असे म्हटले तो प्रयोग आपण मनातल्या मनात केल्यास, किर्चॉफने कृष्ण विकरणाविषयी केलेल्या विधानाचा आशय आपल्या नीट ध्यानात येईल. ज्या पोकळीच्या सर्व

सीमा अेकाच तपमानास आहेत, त्या पोकळीतील प्रकाशाच्या तरंगलांबीच्या विभागणीस मुळीसुद्धा धक्का न लावता, त्या पोकळीत प्रवेश करणे आपल्याला शक्य आहे व पोकळीच्या सीमांचे तपमान असे आहे की प्रकाशपटातील ताम्र बाजूकडील तरंगलांबी प्रामुख्याने त्या पोकळीत आहेत. असे असल्यास पोकळीच्या सीमा किंवा बाजू सारख्याच लाल आहेत असे वाटेल. या सीमा किंवा बाजू निरनिराळ्या पदार्थांच्या असल्या म्हणजे काही सीमा काजळीच्या व काही चकचकीत चांदीच्या असल्या तरी चांदीचा पृष्ठभाग कोठे संपतो व काजळीचा कोठे सुरु होतो हे सांगता येणार नाही, कारण चांदीच्या पृष्ठभागावरुन लाल विकिरणांचे परावर्तन होईल व काजळीचा पृष्ठभाग त्यावर पडणाऱ्या सर्व किरणांचे उत्सर्जन करील व शोषलेल्या विकिरणांचे उत्सर्जन करील. अर्थात त्यामध्ये बहुतांशाने लाल विकिरण जास्त असणार. पोकळीमध्ये सर्व तरंगलांबीचा प्रकाश असणार. पण त्यात प्रामुख्याने लाल विकिरण असणार.

आपण वर निर्देशिलेल्या प्रकाशाच्या तरंगलांबींच्या वाटणीस कृष्णपदार्थ विकिरण असे म्हणतात. तर ज्याना ही संज्ञा पसंत नाही ते अशा प्रकारच्या तरंगलांबीच्या वाटणीस संपूर्ण विकिरण असे म्हणतात. अत्यंत वरच्या तपमानास असलेल्या कोळशाच्या अग्नीमधील पोकळी, वरच्या परिच्छेदात कल्पिलेल्या सर्व सीमा एकाच तपमानास असलेल्या पोकळीसारखी होईल. अशा पोकळीत धातू, काच किंवा पोर्सेलिन यांचे लहान लहान विभाग असले तरी सभोवतालच्या तपमानाइतके त्यांचे तपमान झाल्यावर, ते पदार्थ परस्परापासून भिन्न आहेत असे सांगता येणार नाही.

वर वर्णन केलेला प्रयोग, मनातल्या मनात करुन, किर्चॉफने प्रकाशाविषयी एक महत्वाचा नियम शोधून काढला आहे. तो नियम किर्चॉफ चा नियम या नावाने ओळखला जातो. तो नियम थोडक्यात असा आहे. प्रकाश उत्सर्जनक्षमता व प्रकाशशोषणक्षमता यांचे परस्परप्रमाण सर्व पदार्थांच्या बाबतीत एकच किंवा समान असते व पदार्थ ज्या तपमानास असेल त्या तपमानास असलेल्या कृष्ण पदार्थाच्या बाबतीत आढळून येणाऱ्या प्रकाशउत्सर्जन व प्रकाशशोषण यांच्या क्षमतेच्या परस्परप्रमाणाइतके ते असते. किर्चॉफचा हा नियम उत्सर्जन व शोषण होणाऱ्या सर्व प्रकाशलहरींना लावता येतो. हा नियम एका तरंगलांबीला तसाच तरंगलांबींच्या छोट्या श्रेणीनाही लावता येतो असे किर्चॉफने सिद्ध केले.

वीनच्या संशोधनाची ही पार्श्वभूमी सांगितल्यानंतर, वीनच्या नोबेल व्याख्यानाकडे वळायला हरकत नाही. हे व्याख्यान त्याने जर्मन भाषेत दिले असून, त्यातील काही भागाचा अनुवाद पुढे दिला आहे.

"संशोधन क्षेत्रात आदर्श प्रक्रियांचा खूप उपयोग होतो. अशा प्रकारच्या आदर्श प्रक्रियावरच माझे संशोधन आधारले आहे. उष्मागतीकशास्त्र विकिरण-उपपत्तीच्या बाबतीत वापरताना काही आदर्श प्रक्रिया कल्पाव्या लागतात. या आदर्श प्रक्रिया प्रयोग करुन अभ्यासता येत नाहीत. या प्रक्रिया घडवून आणता येतात व घडवून आणल्या आहेत असे मानावेलागते व त्यावरुन निष्कर्ष काढावे लागतात. आदर्श प्रक्रिया घडून आल्या आहेत असे धरुन किरचॉफने आपला नियम मांडला आहे.

- - - - -

विकिरणाना दाब असतो ही कल्पना सिद्ध करण्यासाठी बोल्ट्झमन या शास्त्रज्ञानेसुद्धा आदर्श प्रक्रिया वापरल्या आहेत. विकिरणांचा दाब ही कल्पना त्याने फक्त प्रकाशाच्या विद्युतचुंबकीय उपपत्तीवरुन निष्कर्षली होती. हे केल्या-नंतर उष्मागतीकशास्त्राच्या आधारे त्याने कृष्ण पदार्थ विकिरणा विषयीचा नियम मांडला. कृष्ण पदार्थातून होणारे विकिरणांचे उत्सर्जन, त्या पदार्थाच्या केवळ तपमानाच्या चतुर्थ घाताच्या प्रमाणात असते – हा तो नियम होय. हाच नियम स्टेफन या शास्त्रज्ञाने प्रयोग करताना आलेल्या अनुभवातून मांडला होता.

बोल्ट्झमनने उष्मागतीकशास्त्राच्या आधारे कृष्ण पदार्थातून उत्सर्ग होणाऱ्या विकिरणाविषयी काही निष्कर्ष काढले. त्याहूनही आणखी काही निष्कर्ष त्या शास्त्राच्या आधारे कृष्ण पदार्थातून होणाऱ्या विकिरणाविषयी काढता येतात. कृष्ण पदार्थातून उत्सर्ग होणाऱ्या किरणांच्या रंगावर त्या पदार्थाच्या तपमानाचा काय परिणाम होतो याविषयी काहीही निष्कर्ष बोल्ट्झमनने काढले नव्हते. ते निष्कर्ष काढण्याकरिता काही आदर्श प्रक्रियांची मदत घ्यावी लागते. आपल्या पृष्ठभागावर पडणाऱ्या विकिरणांचे संपूर्ण परावर्तन करणारा पदार्थ अस्तित्वात असणे शक्य आहे असे धरुन याविषयीची आकडेमोड करण्यात आली आहे. अशा पदार्थाच्या पृष्ठभागावर पडणाऱ्या विकिरणांचे संपूर्ण परावर्तन होताना, ते विकिरण पूर्णपण विखुरले जातात असे धरावे लागते. अशा प्रकारचा संपूर्ण परावर्तन करणारा पदार्थ संपूर्ण श्वेत पदार्थ वर्गात मोडतो. कृष्ण पदार्थातून बाहेर पडणारे विकिरण

जर आपण, सभोवती संपूर्ण श्वेत पदार्थांचा पृष्ठभाग असलेल्या बंदिस्त जागेत येऊ दिले, व त्या संपूर्ण श्वेत पदार्थांचा पृष्ठभाग कृष्ण पदार्थांच्या तपमानास आहे असे मानले तर त्या बंदिस्त जागेच्या सर्व बाजूच्या श्वेत पृष्ठभागातून विकिरण येत आहेत असे वाटेल. आता जर आपण कृष्णपदार्थांचा त्या श्वेत पोकळीशी किंवा बंदिस्त जागेशी संबंध तोडला तर प्रत्यक्ष प्रयोगात आपल्याला कधी आढळ-णार नाही असा प्रकार घडून येईल. बंदिस्त जागेच्या श्वेत पृष्ठभागावरून विकिर-णांचे सतत मागेपुढे परावर्तन चालू राहील.

कल्पना सृष्टीतच शक्य असलेला हा प्रयोग आपण तसाच कल्पनासृष्टीतच चालू ठेवू या. बंदिस्त जागेच्या सीमा आकुंचन पावल्या आहेत असे समजू या. तसे झाल्यास त्या बंदिस्त जागेचे घनफळ कमी होईल व त्या बंदिस्त जागेतील विकिरण पूर्वीपेक्षा कमी घनफळ जागेत आहेत असे होईल. विकिरणाना काही ठराविक दाब असल्याने पूर्वीपेक्षा कमी क्षेत्रफळ असलेल्या श्वेत सीमावर विकिरण पडल्यास, त्या विकिरणांचा दाब वाढेल व ते करण्यासाठी म्हणजे त्या बंदिस्त जागेचे घनफळ कमी करून विकिरणांचा दाब वाढवण्यासाठी आपल्याला उष्मागतीक शास्त्रीय कार्य करावे लागेल. प्रकाशाचा दाब अत्यल्प असल्याने हे उष्मागतीक शास्त्रीय कार्यही अत्यल्प असणार. परंतु ते किती असेल त्याचेअचूक मापन करता येते. ऊर्जेच्याअक्षयतेच्या नियमाप्रमाणे हे कार्य नाहीसे किंवा नष्ट होणार नाही. त्याचे विकिरणामध्ये रूपांतर होईल. त्यामुळे विकिरणांची घनता आणखी वाढेल.

पोकळीच्या श्वेत सीमा हलवण्याने विकिरणांच्या घनतेत पडलेला फरक हा विकिरणात घडून आलेला अेकमेव फरक नाही. हलत्या किंवा चल आरशामुळे ज्यावेळी प्रकाश किरणांचे परावर्तन होते, त्यावेळी प्रकाशाचा रंग ठरविणाऱ्या तरंगवारंवारतेत फरक झाल्याने, प्रकाशाच्या रंगात फरक पडतो. चल आरशावरुन परावर्तित झाल्याने प्रकाशाच्या रंगात पडणाऱ्या फरकास डॉपलर परिणाम या नावाने ओळखतात. या डॉपलर परिणामाचा ॲस्ट्रोफिझिक्स शास्त्रात किंवा आकाशस्थ ताऱ्यांच्या अभ्यासात खूप उपयोग होतो. आकाशस्थ तारा आपल्याकडे म्हणजे पृथ्वीकडे येत असता, त्या ताऱ्यापासून येणाऱ्या प्रकाशाच्या वर्णपटातील रेषांचे कमी तरंगलांबीच्या टोकाकडे विस्थापन होते. साध्या शद्वात त्या प्रकाशाची तरंगलांबी कमी होते. ताऱ्याच्या प्रकाशाच्या वर्णपटातील रेषांचे विस्थापन, त्या ताऱ्याची गती व प्रकाशाची गती यांच्या परस्परप्रमाणाच्या प्रमाणात होते. प्रकाश

किरणांचे चल आरशावरुन परावर्तन होतानाही प्रकाशाच्या वर्णपटातील रेषांचे अशाच प्रकारचे विस्थापन होते. फक्त ते ताऱ्यांच्या बाबतीत दिसून येणाऱ्या विस्थापनाच्या दुप्पट असते. तेव्हा पोकळीच्या सीमा हलण्याने पोकळीतील विकिरणामध्ये काय फरक घडून येईल हे आपल्याला अचूक मोजता येते. या अचूक मोजणीसाठी प्रकाशाचा दाब माहीत पाहिजे हे लेबेडेव या शास्त्रज्ञाने नंतर दाखवून दिले. प्रकाशाला दाब असतो ही कल्पना ग्राह्य करुन, त्या कल्पनेच्या आधारे अऱ्हेनियस या शास्त्रज्ञाने धूमकेतूला शेपटी का असते याचे स्पष्टीकरण दिले आहे. अऱ्हेनियसने स्पष्टीकरण देण्याआधी मॅक्सवेलच्या विद्युतचुंबकीय उपपत्तीच्या आधारे धूमकेतूना शेपटी का असते याचे स्पष्टीकरण देत असत.

आता आपण विकिरणांचा घनतेतील फरक व विशिष्ट तरंगलांबीच्या प्रकाशात होणारा फरक यांचे मापन करु शकतो. फक्त मानसिक पातळीवर केलेल्या अशा प्रकारच्या प्रयोगातून आपल्याला महत्त्वाचे निष्कर्ष काढता येतात. पोकळीच्या प्रकाश परावर्तित करणाऱ्या सीमा आत घेतल्याने विकिरणांची घनता वाढून विकिरणांच्या वर्णपटसंघटनात होणारा फरक प्रकाशाची घनता वाढेल अशाप्रकारे पोकळीचे तपमान वाढवून होणाऱ्या फरका इतका असतो– हे आपल्याला उष्मागतीकशास्त्राच्या दुसऱ्या नियमावरुन काढता येते. रंगीत फिल्टर किंवा गाळणपट्टी वापरुन, आपल्याला दोन पोकळ्यातील विकिरणांच्या घनतेत विषमता घडवून आणता येईल व भरपाई न देता उष्णतेपासून कार्य मिळविता येईल. तसेच विशिष्ट तरंग लांबीच्या प्रकाशात, पोकळीच्या संकोचनाने काय फरक घडून येईल याचे गणित मांडता येत असल्याने, कृष्णपदार्थापासून निघणाऱ्या विकिरणांच्या वर्णपटसंघटनेत घडून येणारे फरक आपल्याला गणिताने काढता येतात. मी आता हे गणित सोडून दाखवणार नाही. फक्त हे गणित सोडवून मिळालेले उत्तर सांगणार आहे. ते उत्तर असे आहे– विशिष्ट तरंग लांबीची विकिरण ऊर्जा तपमानातील फरकामुळे अशा प्रकारे बदलते की तपमान व तरंग लांबी यांचा गुणाकार नेहमीच स्थिर राहातो.

वीनचा प्रतिष्ठापन नियम λT = स्थिरांक या समीकरणाने सांगता येतो. या समिकरणात λ = तरंगलांबी व T = केवळ तपमान होय. λ चे मूल्य सेन्टीमीटरमध्ये मांडले तर समीकरणातील स्थिरांकाचे मूल्य ०.२८८ च्या जवळपास येते. कृष्ण पदार्थ विकिरणांच्या व्याख्येप्रमाणे अशा पदार्थापासून उत्सर्ग होणाऱ्या तरंगामध्ये सर्व प्रकारचे तरंग अगोदरच असतात. तेव्हा अशा पदार्थाच्या

परिस्थितीत फारसा बदल न होता, कृष्ण पदार्थ विकिरणांचे वाटण सारखे झाले तर त्या विकिरणांची तरंगलांबी सर्वसाधारणपणे कमी होईल. परंतु तरंगलांबीचे वाटण सारखे होत नाही. विकिरणांची तीव्रता काही ठराविक तरंगलांबीच्या जवळपास बृहत्तम असते. पदार्थाचे तपमान वाढल्यास, विकिरणांची तीव्रता ज्या तरंगलांबीच्या जवळपास बृहत्तम असते ती तरंगलांबी वीनच्या नियमाला धरून मांडलेल्या समीकरणाप्रमाणे कमी होऊ लागते. हीच गोष्ट पुढील समीकरणाने दाखवता येते.

$$\lambda_{\text{बृहत्तम}} T = \text{स्थिरांक}$$

यात λ बृहत्तम म्हणजे विकिरणांची तीव्रता ज्या तरंगलांबीशी बृहत्तम असते ती तरंगलांबी.

वीनच्या नियमाप्रमाणे प्रत्यक्षात प्रकार घडून येतो. हे आपल्याला अेक साध्या प्रयोगाने समजून येते. प्लॅटिनमची तार विद्युतप्रवाहाच्या सहाय्याने तापवित नेल्यास, तिचा रंग कसा पालटत जातो हे आपण पाहू शकतो. सुरवातीला त्या प्लॅटिनमच्या तारेतून दृश्य प्रकाशपटाच्या ताम्र टोकाच्याही पलीकडचे कृष्ण विकिरण बाहेर पडत असतात. तारेचे तपमान चढू लागल्यावर ती क्रमाक्रमाने लालसर, लाल, लालभडक नारिंगी पिवळी आणि शेवटी सफेत दिसू लागते. λ बृहत्तम जशी प्रकाशपटाच्या नील टोकाकडे झुकू लागते, तशी तारेतून उत्सर्ग होणाऱ्या प्रकाशाची तरंगलांबी कमी होत आहे असे दर्शविणारे हे फरक आहेत. ज्यावेळी प्लॅटिनमच्या तारेतून बाहेर पडणाऱ्या प्रकाशाची तरंगलांबी प्रकाश–पटाच्या नील विभागात असते, त्यावेळी प्लॅटिनमची तार सफेत उष्ण दिसू लागते.

कृष्णपदार्थ विकिरणाच्या तरंगामधील ऊर्जेचे वाटण याविषयी वीनने यानंतर संशोधन केले.हे करीत असता,उष्मागतीकशास्त्र त्या प्रश्नाचा पूर्ण उलगडा करु शकत नाही असे त्याला आढळून आल्याने, विकिरण–उत्सर्गाच्या बाबतीत रेणूंचे कार्य याविषयी काही गोष्टी त्याला ग्राह्य समजाव्या लागल्या. काही गोष्टी ग्राह्य समजून त्याने एक समीकरण मांडले.

$E_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^{C_1} e^{c_2/\lambda T}}$ असे ते समीकरण आहे. यात E_λ = λ या

तरंगलांबीशी संबंधीत ऊर्जा– C_1 व C_2 हे स्थिरांक असून e हा नैसर्गिक लोगॅरिदमचा पाया होय.

हे समीकरण मांडल्यानंतर, वीनने या समीकरणासाठी ज्या गोष्टी गृहित धरल्या त्या तशा धरता येत नाहीत असे सिद्ध झाल्याने वीनच्या या समीकरणास पहिल्या इतके महत्त्व राहिले नाही.

संशोधनाचे परिणाम

वीनने शोधून काढलेल्या विस्थापन नियमास व वाटपनियमास प्रयोगसिद्ध काय पुरावा आहे? या प्रश्नाचे उत्तर मिळविण्यासाठी, वर्णपटाच्या निरनिराळ्या विभागात होणाऱ्या उष्णता परिणामातील सूक्ष्म फरक ज्यानी मोजता येतील अशा तऱ्हेची सूक्ष्म संवेदनाक्षम उपकरणे वापरणे भाग आहे. सुदैवाने अशा तऱ्हेची उप–करणे उपलब्ध होती. त्यामुळे वीनचे नियम सिद्ध करण्यास अवश्य तो प्रयोगजन्य पुरावा मिळाला. १८८१ मध्ये, पेनसिल्व्हानिया या अमेरिकन राज्यातील अलेघेनी प्रयोगशाळेत संशोधन करणाऱ्या अेस्. पी. लँगले याने बोलोमीटर नावाचे उपकरण तयार केले. धातुच्या अगदी पातळ पट्टीवर पडणाऱ्या प्रकाशामुळे, त्या धातुपट्टीच्या विद्युत विरोधात होणारा फरक बोलोमीटर मोजते. धातु पट्टीचेतपमान वाढल्यास तिच्या विद्युतविरोधात वाढ होते. विद्युतविरोधात होणाऱ्या वाढीवरुन धावपट्टीवर किती प्रकाश पडत आहे ते काढता येते.सूर्यप्रकाशाच्या वर्णपटात ऊर्जा कशी वाटली गेली आहे हे शोधून काढण्यासाठी लँगलेने बोलोमीटर वापरुन पाहिले. समुद्र–सपाटीला वर्णपटाच्यापिवळ्या भागामध्ये जास्त ऊर्जा असते असे त्याला आढळले. रिकसानस्टाल्ट व ग्रिगशीम या दोन्ही ठिकाणी वीनला संशोधन कार्यात सहकार्य देणाऱ्या लमर या संशोधकाने, लँगलेच्या बोलोमीटरमध्ये सुधारणा करुन, बोलोमीटरची ती सुधारलेली आवृत्ती, स्थिर तपमानाला ठेवलेल्या पात्रातील सूक्ष्म छिद्रातून बाहेर पडणारे कृष्णपदार्थ विकिरण मोजण्यासाठी १८९९ मध्ये वापरली. त्या प्रयोगात वीनचा विस्थापन नियम पूर्णपणे पाळला जातो असे आढळले. वीनचा वाटप नियम तितक्याशा पूर्णत्वाने पाळला जात नाही किंवा त्या नियमाच्या बाब–तीत प्रायोगिक पुरावा तितकासा निःसंदिग्ध नाही असे आढळले. λT या गुणाकाराचे मूल्य अल्प असल्यासच प्रायोगिक पुरावा अपेक्षिल्याप्रमाणे असतो असे समजून आले. λT चे मूल्य अल्प असताना मात्र प्रायोगिक व अपेक्षित मूल्ये अेकमेकाशी नीट जमतात.

वर्णपटामध्ये ऊर्जेचे वाटप कसे झाले आहे हे वीनच्या नियमाने नीट काढता न आल्याने भौतिकशास्त्रातला अेक मोठा शोध लागला. मॅक्स प्लँक या संशोधकानें वीनच्या सूत्रात थोडासा फरक करुन, ते सूत्र वर्णपटातील ऊर्जा वाटपाची मोजणी करण्यासाठी वापरले. मॅक्स प्लँकचे सूत्र वर्णपटातील ऊर्जा वाटपाला लावता येते व त्यामुळे प्रकाशाची क्वांटम उपपत्ती अस्तित्वात आली.



१९१२

नील्स गुस्टाफ डालेन
(१८६९–१९३७)

"दीपस्तंभावरील व तरंगत्या बोयावरील संकेतदीपासाठी वापरायच्या वायुसंचायकाबरोबर वापरायच्या स्वयंचलित नियामकाचा शोध लावल्याबद्दल पारितोषिक"

चरित्र

दक्षिण स्वीडनमधील स्टेनस्टॉर्प गावी ३० नोव्हेंबर, १८६९ रोजी गुस्टाफ डालेनचा जन्म झाला. त्याचे वडील शेती, दुग्धव्यवसाय व उद्यानातून फळनिर्मिती हे व्यवसाय संभाळत असल्याने, मोठे झाल्यावर नील्स गुस्टाफने ते व्यवसाय स्वीकारावेत हा उद्देश मनाशी ठेवून त्याच्या वडिलानी त्याच्या शिक्षणाची व्यवस्था केली. परंतु नील्स डालेनच्या मनाचा ओढा वडिलोपार्जित चालत आलेल्या या व्यवसायाअैवजी यांत्रिकी व्यवसायाकडे होता. वाढत्या वयाबरोबर अभियांत्रिकी विषयाबद्दलचा त्याचा ओढा वाढत गेला. खाजगीरीत्या अभ्यास करुन, त्याने १८९२ मध्ये गॉटेबोर्ग येथील चामर अभियांत्रिकी विद्यालयात प्रवेश मिळविला. त्या विद्यालयाचा अभ्यासक्रम पुरा करुन तो १८९६ मध्ये यंत्र अभियांत्रिकीचा पदवीधर झाला. त्यानंतर झुरिचमधील फेडरल पॉलीटेक्निकमध्ये आणखी अेक वर्ष त्याने अभियांत्रिकीचा विशेष अभ्यास केला. स्वीडनला १८९७ मध्ये परतल्या-वर उष्ण हवेवर चालणाऱ्या वीजचक्क्या, संपीडक व वात–पंप याविषयी संशोधन करायला त्याने सुरवात केली. या विषयीचे सर्व प्रयोग त्याने स्टॉकहोममधील डी लावाल बाष्पचक्की कंपनीमध्ये केले. या संशोधनाच्या आधारे त्याने चक्क्या, संपीडक व वातपंप या यंत्रात पुष्कळच सुधारणा घडवून आणली.

यानंतर अभियांत्रिकी शोधांचा फायदा उठविण्याकरिता स्थापन झालेल्या डालेन–केल्सिग कंपनीत डालेनने १९०० ते १९०५ ही पाच वर्षे काम केले. या काळात त्याचा स्वीडीश कार्बाइड व अॅसिटिलीन कंपनीशी संबंध आला. या कंप–नीने ' अॅसिटिलीन डिसाउस ' या नावाने ओळखला जाणारा फ्रेंच शोध स्वीडनमध्ये वापरण्याचे अग्रहक्क मिळविले. अॅसिटिलीन वायू अॅसिटोन या द्रावकात विरघळ–वून व ते विलयन सच्छिद्र पदार्थाबरोबर ठेवून अॅसिटिलीन वायू संचायक तयार करायचा या तत्त्वावर तो फ्रेंच शोध आधारला होता. स्वीडीश कार्बाइड व अॅसि–टिलीन कंपनीचा मुख्य कार्यकारी व्यवस्थापक म्हणून १९०१ ते १९०३ या काळात व ती कंपनी गॅस अॅक्युम्युलेटर कंपनीने आपल्या ताब्यात घेतल्यानंतर त्या कंप–नीचा प्रमुख अभियंता म्हणून १९०६ नंतर त्याने अत्यंत उपयुक्त व महत्त्वाचे संशोधन कार्य केले. त्या संशोधनातून लागलेल्या शोधांच्या आधारावर अेका मोठ्या उद्योगधंद्याचा उगम झाला. १९०९ मध्ये गॅस अॅक्युम्युलेटर कंपनीने स्वीडीश गॅस अॅक्युम्युलेटर कंपनी असे नवीन नाव धारण केले. या नवीन कंपनीने डालेनची प्रमुख संचालकपदी नेमणूक केली.

१२ सप्टेंबर १९१२ रोजी त्याच्या प्रयोगशाळेत स्फोट होऊन डालेन जबर जखमी झाला. तो जगतो की मरतो अशी काही काळ स्थिती होती. सुदैवाने तो वाचला व आपले संशोधन पुन्हा करू लागला. परंतु झालेल्या अपघातामुळे त्याची दृष्टी नष्ट झाली होती. अंध अवस्थेत त्याने आपले कार्य चालू ठेवले. नोबेल पारितोषिक वितरणाचा समारंभ ज्यावेळी झाला त्यावेळी त्याच्या वतीने त्याचा भाऊ प्रोफेसर अल्बिन डालेन स्टॉकहोमच्या कॅरोलीन मेडिको चिर्जिकल अिन्स्टि–ट्यूटमध्ये हजर होता व त्याने आपल्या भावाच्या वतीने पारितोषिकाचा स्वीकार केला. १० डिसेंबर १९३७ रोजी डालेनने इहलोकचा निरोप घेतला.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

स्वीडीश कार्बाइड व अॅसिटिलीन कंपनीत काम करू लागल्यानंतर डालेनने वायू संचायकाच्या कार्यामध्ये लक्ष घालायला सुरवात केली. त्यावेळी वापरण्यात येणाऱ्या वायूसंचायकात अेक महत्वाचा दोष होता. संचायक नीट हाताळला नाही तर चटकन स्फोट व्हायचा. हा दोष काढून टाकण्यासाठी डालेनने संशोधन सुरू केले. अेक विशिष्ट सच्छिद्र पदार्थ वायू संचायकात अॅसिटिलीनच्या विलयनाबरोबर वापरल्यास स्फोट होण्याची शक्यता राहात नाही हे त्याने संशोधनानी शोधून

काढले. डालेनने शोधून काढलेल्या सच्छिद्र पदार्थ अगा मॅसन या नावाने ओळखला जाऊ लागला. ॲसिटिलीन गॅस ॲक्युम्युलेटर या तीन शब्दांच्या इंग्रजी आद्याक्षरावरुन AGA अगा हा शब्द तयार केला असावा. कदाचित ॲक्टीबोलागेट गॅस ॲक्युम्युलेटर या स्वीडीश नावातील तीन शब्दांच्या आद्याक्षरावरुनही AGA हे नाव तयार झाले असावे. या अगा मॅसनचा म्हणजे अगा पदार्थाचा शोध लागला. त्यावेळी डालेन त्या गॅस ॲक्युम्युलेटर कंपनीचा मुख्य अभियंता असल्याने त्याने कंपनीच्या नावावरुन अगा हे नाव तयार केले असावे असे वाटते.

वायू–संचायकात सुधारणा करण्याचे कार्य हाती घेतल्यावर, ते संचायक कोठे वापरता येतील याकडे त्याचे लक्ष गेले. संचायकातील वायूच्या दाबाचे नियमन करु शकेल अशा प्रकारचा नियंत्रक त्याने प्रथमतः तयार केला. नंतर कांही ठराविक भार.च्या ॲसिटिलीनपासून जास्तीत जास्त वेळा लखलखाट करणाऱ्या ज्योती देऊ शकेल व दीपस्तंभावरील संकेत दिव्यासाठी वापरता येईल अशा प्रकारचे उपकरण त्याने १९०५ साली तयार केले. १९०७ मध्ये त्याने वायुसंचायकाविषयीचा अत्यंत महत्त्वाचा शोध लावला. सॉल्व्हेन्टिल किंवा सौर्य–झडप हा तो शोध होय. ही सौर्य–झडप ॲसिटिलीन वायू संचायकाच्या बरोबर वापरल्यास, दीपस्तंभावरील संकेतदीप सूर्य मावळल्यावर किंवा आकाश ढगाळल्यानंतर आपोआप सुरु होत. धातुच्या सळईवर काजळी चढवल्यानंतर ती सळई विकरण-उष्णता चकचकित सळईपेक्षा जास्त प्रमाणात शोषत असल्याने काजळी चढवलेल्या धातुच्या सळईचे सौर्य उष्णता शोषल्यावर चकचकित धातू सळईपेक्षा जास्त प्रसरण होते या गोष्टीवर या स्वयंचलित सौर्य–झडपेचे किंवा नियंत्रकाचे कार्य आधारलेले आहे. आपल्या घरातील खिडक्यावर काजळी चढवलेल्या व चकचकित सळ्या ठेवून व त्यावर सूर्याचे ऊन पडल्यानंतर होणाऱ्या त्यांच्या प्रसरणाचा अभ्यास करुन, त्या दोन प्रकारच्या सळ्यांच्या प्रसरणातील फरक अत्यल्प असला तरी त्या फरकाच्या आधारावर स्वयंचलित नियंत्रक तयार करता येईल हे त्याने प्रथमतः शोधून काढले. त्याने तयार केलेल्या सौर्य–झडपेची रचना थोडक्यात पुढे दिल्याप्रमाणे होती. काचेच्या दंडगोलामध्ये मध्यभागी काजळी चढवलेली अेक धातूची सळई होती. त्या सळईभोवती चकचकित धातुच्या तीन सळ्या उभ्या केल्या होत्या. काजळी चढवलेली सळई व तिच्या भोवतालच्या चकचकित धातुच्या तीन सळ्या वरच्या टोकाला घट्ट बसवलेल्या होत्या. या सळ्यावर सूर्यप्रकाश पडल्यावर, मधल्या सळईचे जास्त प्रसरण व्हायचे. जास्त प्रसरण झालेल्या त्या सळईने, अेक तरफ दबली जायची व वायू येण्याचा मार्ग बंद व्हायचा व त्यामुळे त्या वायूवर

चालणारा संकेतदीप अंधुक व्हायचा. काळोख पडल्यावर, काजळी चढवलेल्या धातुच्या सळईचे आकुंचन व्हायचे व चकचकीत धातुच्या सळईला जोडलेली व सळईच्या प्रसरणाने दबली गेलेली स्प्रिंग वर ओढली जायची आणि वायू येण्याचा मार्ग खुला व्हायचा. वायू येऊ लागल्यावर संकेतदीपात प्रखर ज्योत दिसू लागायची. संकेतदीपात थोडासा वायू येत राहील व त्यात बारीकशी ज्योत नेहमीच राहील अशी व्यवस्था केली असल्याने, अ‍ॅसिटिलीन वायू मुक्तपणे दीपात येऊ लागल्यावर ज्योत प्रखर होणे व दीपात वायू येण्याचा मार्ग बंद झाल्यावर ज्योत अंधुक होणे या दोन्ही क्रिया आपोआप होत असतात. प्रकाशाच्या कोणत्याही प्रखरतेस किंवा अंधुकतेस नियंत्रक कार्य करु शकेल अशा प्रकारचे फेरफार करण्याची सोय या उपकरणात होती. नियंत्रकातील धातुच्या चार सळ्या विभेदक स्क्रूच्या सहाय्याने खाली किंवा वर चढवून नियंत्रकाने कोणत्या अंधुकतेस कार्य करायचे ते ठरवता येत असे.

पारितोषिक वितरणाआधीच अपघात होऊन, दृष्टी गेल्याने डालेन त्या वितरणसमारंभास हजर राहू शकला नाही, व त्याने आपल्या शोधाची माहिती देणारे नोबेल व्याख्यानही दिले नाही. तसेच आपल्या शोधांची माहिती देणारे संशोधन निबंधही त्याने प्रसिद्ध केले नाहीत. त्याला नोबेल पारितोषिक द्यावे अशी स्वीडीश रॉयल अ‍ॅकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेचे अध्यक्ष प्रो. अेच्. जी. सॉडरबॉम यानी स्वीडनच्या राजेसाहेबास विनंती करताना, डालेनच्या कार्याची माहिती देणारे भाषण स्वीडीश भाषेत केले. त्यानी तत्प्रसंगी केलेल्या भाषणाचा अनुवाद पुढे दिला आहे.

समुद्रप्रवास वाढत्या प्रमाणावर होऊ लागल्यावर समुद्र प्रवासात कमीत कमी धोका असावा या दृष्टीने प्रयत्न सुरू झाले. समुद्रातून बंदराकडे येताना व बंदर सोडून समुद्रात जाताना वाटेतले धोके टाळण्यासाठी दीपस्तंभ व प्रकाश देणारे तरंगते बोये बांधण्यास सुरवात झाली. त्यांच्यामुळे समुद्रप्रवासातील धोके बरेच कमी झाले. दीपस्तंभ व प्रकाश देणाऱ्या तरंगत्या बोयांची संख्या सध्या बरीच आहे व ती सतत वाढत आहे. दीपस्तंभाच्या व तरंगत्या बोयांच्या वाढत्या संख्येबरोबर, त्यापासून मिळणाऱ्या प्रकाशाची तीव्रता वाढवण्याचे व त्यापासून मिळणारा प्रकाश, बंदरातल्या इतर प्रकाशातून चटकन ओळखता येईल अशा तऱ्हेचा ठेवण्याचे प्रयत्न सुरु झाले. तसेच दीपस्तंभातून मिळणारा प्रकाश शक्य तितका स्वयंनियंत्रित असावा व करावा या दृष्टीने प्रयत्न सुरु झाले, कारण

दीपस्तंभातून व बोयातून मिळणाऱ्या प्रकाशावर नियंत्रण ठेवण्यासाठी वेगळा नोकरवर्ग ठेवणे अतिशय खर्चाचे आहे व कोणत्याही राष्ट्राला तो खर्च परवडण्या–सारखा नाही.

१८९० नंतर कॅल्शियम कार्बाइडपासून ॲसिटिलिन हा हायड्रोकार्बन वर्गा–तील वायू औद्योगिक प्रमाणावर तयार करण्याची प्रक्रिया प्रथमतःच शक्यतेच्या कोटीत आली. ॲसिटिलीन वायू जाळल्यास, प्रखर पांढराशुभ्र स्वच्छ प्रकाश मिळतो. परंतु दीपस्तंभावरील व बोयावरील संकेतदीपासाठी हा वायू वापरण्याचे प्रयत्न बऱ्याचशा प्रमाणात अयशस्वी व असमाधानकारक ठरले. पूर्वी संकेतदीपासाठी वापरण्यात येणाऱ्या तैलवायूचे दाबाखाली संकोचन घडवून आणून, तो वायू धातुच्या भांड्यात भरता यायचा व संकोचन केलेल्या तेलवायूने भरलेली धातूची भांडी दीपस्तंभाना पुरवण्यात येत व भांड्यातील वायू संपेपर्यंत संकेतदीप प्रकाश देत असत. ॲसिटिलीन वायू तशाच प्रकारे म्हणजे संकोचित स्वरुपात दीप–स्तंभाना पुरवण्याकरिता त्या वायूचे संकोचन करण्याचे प्रयत्न झाले. परंतु दोन किंवा त्याहून जास्त वातावरण दाबाखाली ॲसिटिलीन वायू ठेवल्यास त्याचा चटकन स्फोट होतो असे आढळून आले. दीपगृहात अचानक स्फोट होण्याची धास्ती व भिती नको म्हणून संकोचित स्वरुपात ॲसिटिलीन वायू दीपगृहाना पुरविण्याचे प्रयत्न सोडून द्यावे लागले. कॅल्शियम कार्बाइड दीपगृहात व बोयावर ठेवून, त्यावर थेंब थेंब पाणी पडू दिल्यास, ॲसिटिलीन निर्मितीची क्रिया सतत चालू राहील व संकेतदीपाना ॲसिटिलीनचा सतत पुरवठा करता येईल या कल्पनेने कॅल्शियम कार्बाइड दीपगृहावर व बोयावर ठेवून तेथेच ॲसिटिलीन तयार करण्याचे प्रयत्न झाले. परंतु ही क्रिया बेभरंवशाची; हाताळायला अवघड व थंड प्रदेशात न वाप–रता येण्यासारखी असल्याने ते प्रयत्न सोडून द्यावे लागले.

१८९६ मध्ये फ्रेंच रसायनशास्त्रज्ञ क्लॉड आणि हेस यानी अेक महत्वाचा शोध लावला. ॲसिटोन या द्रवामध्ये ॲसिटिलीन वायूची विद्राव्यता खूप अस–ल्याचे त्याने शोधून काढले. ॲसिटिलीनचे ॲसिटोनमधील विलयन स्फोटक नाही. परंतु ते विलयन ॲसिटिलीन वायूचा साठा करण्यासाठी वापरता येत नाही. खूप दाबाखाली तयार केलेल्या ॲसिटिलिनच्या संपृक्त द्रावातून मिळणारे अेसिटिलीन वापरत गेल्यास किंवा तो द्राव थंड केल्यास, द्रावाचे आकारमान कमी होते व पात्रातील द्रावावरच्या भागात प्रथमतः निर्वात तयार होतो व नंतर त्या भागात स्फोटक ॲसिटिलीन वायू भरुन राहतो.

ॲसिटिलीनच्या द्रावात आढळून येणारा हा स्फोटक गुण तो द्राव सच्छिद्र पदार्थात दाबाखाली घातल्यास नाहीसा होतो असे यानंतर आढळून आले. तेव्हा ॲसिटिलीनच्या द्रावाने भरलेले पात्र अेका ठिकाणापासून दुसरीकडे नेताना, त्या पात्रावर होणाऱ्या निरनिराळ्या आघातांचा त्या द्रावावर परिणाम होणार नाही म्हणजे द्रावाबरोबर असलेला सच्छिद्र पदार्थ आहे त्याच स्थितीत टिकून राहील व स्फोटक परिस्थिती उद्भवणार नाही या हेतूने ॲसिटिलीन द्रावाबरोबर वापरायचा व जास्तीत जास्त संरक्षण देणारा सच्छिद्र पदार्थ शोधण्याचे खूप प्रयत्न झाले.

ॲसिटिलीन वायूच्या ॲसिटोनमधील द्रावाबरोबर वापरता येणारा व जास्तीत जास्त सुरक्षा देणारा सच्छिद्र पदार्थ सरते शेवटी नील्स गुस्टाफ डालेन या अभियंत्याने शोधून काढला आहे. अेका जटिल व अत्यंत काळजीपूर्वक करायच्या प्रक्रियेने हा सच्छिद्र पदार्थ प्रथमतः पोलादी भांड्यात भरतात. भांड्यात भरलेल्या सच्छिद्र पदार्थाची साधारण निम्म्याइतकी छिद्रे भरतील इतका ॲसिटोन त्या भांड्यात सोडतात. नंतर दहा वातावरण दाबाखाली असलेला ॲसिटिलीन वायू त्या भांड्यात १५^{0} से. ला. सोडतात. ॲसिटिलीन वायू भांड्यातील ॲसिटोनमध्ये विरघळून त्याचे विलयन तयार होते व त्या विलयनाबरोबर असलेल्या सच्छिद्र पदार्थामुळे स्फोटक परिस्थिती उद्भवत नाही. दहा वातावरणाइतका दाब व १५$^{\circ}$ से. तपमान या विशिष्ट परिस्थितीत ॲसिटोनच्या आकारमानाच्या अंदाजे शंभर पट आकारमानाचा ॲसिटिलीन वायू ॲसिटोनमध्ये विरघळतो. अशाप्रकारे ॲसिटिलीनने भरलेले पात्र, वायू संचायकाचे कार्य करते. दीपगृहांच्या व बोयांच्या संकेतदीपाना ॲसिटिलीन वायू पुरविण्याचे कार्य हे वायुसंचायक करु शकतात.

संकेतदीपांच्या ज्योतीसाठी वापरायचा ॲसिटिलीन वायू सतत जळत ठेवणे भाग असते, तर ॲसिटिलीन वायू संचायक तयार करण्याची ही पद्धत तितकीशी फायदेशीर ठरली नसती, कारण अेक तर ॲसिटिलीन वायू सतत जळत ठेवल्याने खर्च वाढला असता व अेकाच ठिकाणी अेकाच प्रखरतेची व अेकच प्रकारची ज्योत दिसत राहिल्याने, तो संकेतदीपाची ज्योत आहे व जवळपासच्या इतर ज्योतीहून ती भिन्न आहे हे लक्षात आले नसते. संकेतदीपाचा प्रकाश सतत येत न राहाता, मधून मधून काही ठराविक वेळाने येत राहावा यासाठी बऱ्याच पद्धती सुचविण्यात आल्या होत्या, किंवा वापरुन पाहिल्या गेल्या होत्या. संकेतदीप स्वतःभोवती गर–

गर फिरवून किंवा त्याच्या मागे असणारा व प्रकाशाचे परावर्तन करणारा आरसा सतत फिरता ठेवून, संकेतदीपाचा प्रकाश मधून मधून काही ठराविक वेळाने येत राहील अशी व्यवस्था करण्यात आली होती. पण असे करण्यासाठी संकेतदीपावर सतत लक्ष ठेवणे जरूर होते, व त्यामुळे खर्च वाढत होता. संकोचन केलेला तैल वायू संकेतदीपासाठी वापरल्यास, संकोचन केलेल्या वायूतून थोडा थोडा वायू बाहेर जाऊ देऊन, त्या वायुच्या सहाय्याने मधून मधून प्रखर प्रकाश देणारी यंत्रणा चालू ठेवता येत होती. तैलवायूने मिळणारी ज्योत तितकीशी प्रखर नसते, व त्यापासून मिळणारी साधारण प्रखर ज्योत पाच ते सात सेकंद टिकते. पण ॲसिटिलीन वायूने मिळणारी ज्योत जास्त प्रखर असल्याने ॲसिटिलीन ज्योत इतक्या दीर्घ काळपर्यंत चालू ठेवण्याची आवश्यकता राहिली नाही. शिवाय ॲसिटिलीन ज्योत पाच ते सात सेकंदापर्यंत टिकून राहिल्यास, संकेतदीपातून येणाऱ्या प्रकाशात फारसा फरक दिसून येणार नाही. त्यामुळे ॲसिटिलीनची प्रखर ज्योत कमीत कमी वेळ टिकून राहावी व मधून मधून मिळत राहावी याकडे लक्ष पुरविण्यात येऊन, सध्या बहुतेक मोठ्या दीपगृहातून १/२० सेकंद ते १/३० सेकंद इतक्या अल्पकाळपर्यंत टिकणारी ॲसिटिलीनची प्रखर ज्योत देणारी दंत्रणा बसविण्यात आली आहे. ॲसिटिलीन ज्योतीत ही सुधारणा करण्याचें कार्य डालेनने केले आहे.

१९०४ च्या सुमारास डालेनने ॲसिटिलीन संकेतदीपाविषयीचे संशोधन हाती घेतले. त्यावेळी संकेतदीपासाठी तैलवायूवर चालणाऱ्या उपकरणाच्या सहाय्याने अेक लिटर वायूपासून जास्तीत जास्त पन्नास वेळा लखलखाट करणारी ज्योत मिळायची. तैल वायूपासून लखलखाट करणारी प्रखर ज्योत ज्या तत्वावर मिळवित असत त्यापेक्षा वेगळ्याच तत्वावर डालेनने आपले उपकरण तयार केले आहे. ॲसिटिलीन वायू संकेतदीपात घेऊन येणाऱ्या नलिकेचे तोंड आपोआप उघडेल व बंद होईल अशी यंत्रणा त्याने तयार केली. या यंत्रणेमुळे अेक लिटर ॲसिटिलीन वायूपासून कितीतरी हजार वेळा लखलखाट करणारी ज्योत मिळण्याची सोय झाली. लखलखणारी ही ॲसिटिलीन ज्योत अगदी थोडा वेळपर्यंत दिसते. पण लखलखाटाच्या वेळी अत्यंत प्रखर ज्योत मिळत असल्याने ती ज्योत चटकन व स्पष्टपणे लक्षात येते. डालेनने तयार केलेल्या ह्या यंत्रणेची अगदी कसून तपासणी करण्यात आली. तपासणीअंती डालेनची यंत्रणा पूर्वीच्या यंत्रणेहून जास्त उपयुक्त आहे असे ठरले. त्यानंतर डालेनच्या ' अगा ' प्रकाशाची सोय असणारी यंत्रणा ठिकठिकाणच्या दीपगृहावर बसविण्यात आली. प्रखर ज्योत

जेथून मिळते तेथे अेका लहानशा नलिकेद्वारे ॲसिटिलीन वायू येण्याची सोय असते व दर तीन सेकंदास ३/१० सेकंद टिकणारी प्रखर ज्योत मिळत राहते.

१९०७ मध्ये सूर्य व्हाल्व्ह या नावाने ओळखली जाणारी यंत्रणा तयार करून डालेनने यशस्वितेचे शिखर गाठले. या व्हाल्व्हमुळे सूर्योदयाबरोबर प्रकाश देणारी यंत्रणा बंद होते व सूर्यास्ताबरोबर किंवा सूर्यप्रकाश कमी झाल्याबरोबर ती सुरू होते. या व्हाल्व्हची रचना अगदी साधी आहे. अेका काचेच्या नळीमध्य धातूच्या चार सळया बसवलेल्या असतात. त्यातल्या मधल्या सळईवर काजळी चढवलेली असते व तिच्या भोवतालच्या तीन सळया मुलामा देऊन चकचकित ठेवलेल्या असतात. काजळी चढवलेल्या सळईवर सूर्यप्रकाश पडल्यावर, त्या प्रका–शाच्या शोषणामुळे काजळी चढवलेल्या त्या सळईचे प्रसरण होऊन तिची लांबी वाढते. त्या प्रसरण पावलेल्या सळईमुळे वायू घेऊन येणाऱ्या नळीवरचा व्हाल्व्ह बंद होतो व प्रकाश मंद होतो. ज्यावेळी सूर्यास्त होतो, त्यावेळी सूर्यप्रकाश नसल्याने इतर तीन सळयाइतकीच या काजळी चढवलेल्या सळईचे तपमान होते व तिला मूळची लांबी प्राप्त होते. त्यामुळे वायू घेऊन येणाऱ्या नळीवरच्या व्हाल्व्हवरील दाब कमी होतो, तो ॲसिटिलीन वायूचा पूर्णपणे पुरवठा करू शकतो व ॲसिटिलीन ज्योत प्रखर दिसू लागते. मनात असेल त्या अंधूक प्रकाशात ही यंत्रणा कार्य करू शकेल अशा तऱ्हेची सोय त्या यंत्रणेत असलेने धुके पडल्यावर किंवा आकाश ढगाळलेले असल्यास व्हाल्व्ह उघडेल अशा तऱ्हेची व्यवस्था करून हा सूर्य व्हाल्व्ह उपयोगात आणतात.

थोड्या थोड्या वेळाने लखलखाट करणारा प्रखर प्रकाश देण्याची यंत्रणा, सूर्य व्हाल्व्हला जोडल्यास, ॲसिटिलीन वायूच्या वापरात ९३ टक्के कपात होते. दर तीन सेकंदानी लखलखाट होण्याअैवजी जरा जास्त वेळाने लखलखाट होईल अशी व्यवस्था केल्यास कदाचित याहूनही अधिक कपात वायुच्या वापरात करता येईल.

'अगा' प्रकाशामुळे बेटाभोवतालच्या सहज पोचता न येणाऱ्या जागी व समुद्रातल्या अगदी खडकाळ जागी असणाऱ्या दीपगृहावर व बोयावर संकेतदीप ठेवण्याची सोय झाली. सहज उचलून नेता येण्यासारख्या वायू–संचायकांच्या सहा–य्याने चालू ठेवण्यात आलेले संकेतदीप बंदरात येणाऱ्या किंवा बंदरातून बाहेर जाणाऱ्या जहाजाना सावधगिरीचे संदेश न चुकता सतत देऊ शकतात. त्यामुळे जलप्रवासातला धोका खूपच कमी झाला असून जलप्रवासातले धोके कमी करण्या–

साठी लागणारा खर्चही बराच कमी झाला आहे.

समुद्रपर्यटन करणारी जहाजे ज्या ज्या देशात आहेत, त्या त्या देशात डाले–नची उपकरणे आता बसविण्यात आली आहेत.

'अगा' प्रकाश दीपगृहाखेरीज इतरत्रही वापरता येतो. रेल्वेच्या गाड्याना प्रकाश देण्यासाठी, रेलरस्त्यावरील सिग्नलसाठी, गाड्यांच्या पुढचे प्रकाश दिवे लावण्यासाठी, वेल्डिंगसाठी व धातुचे पत्रे कापण्यासाठी डालेनचा 'अगा' प्रकाश वापरता येतो.

संशोधनाचे परिणाम

डालेनच्या शोधाचे महत्व अजूनही कमी झालेले नाही. सध्या मोठ्या प्रमाणावर वीज निर्मिती होत असल्याने, जुन्या अॅसिटिलीन संकेतदीपाऐवजी, नवे विजेचे दिवे आले आहेत. तरीसुद्धा जेथे विद्युतऊर्जा पोचवता येत नाही अशा अव–घड व अडचणीच्या ठिकाणी डालेनचा अगा पदार्थ व डालेनचा सूर्य व्हाल्व्ह यावरच अवलंबून रहावे लागते. दीपगृहे बांधण्याच्या जागा व बोया ठेवण्याच्या जागा बहुधा अवघड व अडचणीच्याच जागी असल्याने, अशा ठिकाणी वीज पुरवठा करणे जवळ जवळ अशक्य असते. अशावेळी डालेनच्या कार्याचे महत्त्व चांगलेच समजून येते.

१९१३

हाईक कामरलिंघ ओन्स

(१८५३–१९२६)

" द्रव हेलियम व तन्सम द्रव्यांच्या शोधाला कारणीभूत होणाऱ्या अतिशीत तपमानास पदार्थांच्या गुणधर्मांचा अभ्यास केल्याबद्दल पारितोषिक "

चरित्र

हॉलंडमधील ग्रॉनिंजेन गावी २१ सप्टेंबर १८५३ रोजी हाईक कामरलिंघ ओन्सचा जन्म झाला. त्याचे शालेय शिक्षण ग्रॉनिन्जेन हायस्कूलमध्ये जे. अेम्. व्हान बेमेलन यांच्या मार्गदर्शनाखाली झाले. पुढे काही कालानंतर व्हान बेमेलन लेडन विद्यापीठात रसायनशास्त्राचे प्राध्यापक झाले व तेथे त्यानी कलिलविषयक खूप महत्त्वाचे संशोधन तडीस नेले. शालेय शिक्षण संपवून १८७० मध्ये ओन्सने ग्रॉनिन्जेन विद्यापीठात प्रवेश मिळविला. तेथे एक वर्ष घालवून त्याने हायडेलबर्ग विद्यापीठात नाव घातले व तेथे किर्चॉफ आणि बुन्सेन यांच्या मार्गदर्शनाचा लाभ घेतला. १८७३ च्या अेप्रिल महिन्यात तो ग्रॉनिन्जेन विद्यापीठात परत आला, व तेथेच त्याचे पुढील शिक्षण १८७८ पर्यंत चालू होते. १८७८ मध्ये डेल्फ्ट पॉली–टेक्निकमध्ये भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून त्याची नेमणूक झाली. १८७९ मध्ये त्याने स्वतःच्या आसाभोवती पृथ्वीच्या फिरण्यावर संशोधन ग्रंथ लिहून, ग्रॉनिन्जेन विद्यापीठाची पीअेच्. डी. पदवी संपादन केली. १८८२ मध्ये वयाच्या फक्त अेकोणतिसाव्या वर्षी, लेडन विद्यापीठाने प्रायोगिक भौतिकशास्त्राचा प्राध्यापक म्हणून त्याची नेमणूक केली. या विद्यापीठात त्याने १९२३ पर्यंत अध्यापन व

संशोधन कार्य केले. १९२३ मध्ये वयाला सत्तर वर्षे पूर्ण झाल्याने तो कार्यनिवृत्त झाला. २१ फेब्रुवारी १९२६ रोजी त्याने इहलोकचा निरोप घेतला.

१९०४ मध्ये ऑर्डर ऑफ दि नेदरलंडस् लायनचा शेव्हालिये हा बहुमान त्यास मिळाला, व १९२३ मध्ये त्याच ऑर्डरचा 'कमांडर' करण्यात आले. १९१२ मध्ये लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास रमफोर्ड पदक दिले, व १९१६ मध्ये त्यास आपला परदेशास्थ सभासद निवडले. डेल्फट आणि बर्लिन या विद्यापीठानी त्यास मान्यवर डॉक्टरेट पदव्या अर्पण करुन त्याचा बहुमान केला. १९२३ मध्ये बर्लिनच्या प्रशियन ॲकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेने त्याची सभासद म्हणून निवड केली.

त्याला डॉक्टरेट मिळाली त्या प्रसंगाचा रौप्य महोत्सव त्याच्या शिष्यानी १९०४ मध्ये साजरा केला व त्या निमित्ते एक स्मृतीग्रंथ प्रसिद्ध केला. या स्मृती-ग्रंथात लेडन विद्यापीठातील त्यांच्या प्रयोगशाळेत १८८२ ते १९०४ या काळात त्याच्या मार्गदर्शनाखाली झालेल्या संशोधनाचा आढावा घेतला आहे. १९२२ मध्ये त्याच्या शिष्यानी दुसरा स्मृतीग्रंथ प्रसिद्ध केला. या ग्रंथात १९०४ ते १९२२ या काळात त्याच्या मार्गदर्शनाखाली झालेल्या संशोधनाचा आढावा घेतला आहे. लेडन विद्यापीठात त्याने चाळीस वर्षे केलेल्या संशोधनाचे मूल्यमापन असे या दुसऱ्या स्मृतीग्रंथाचे स्वरुप आहे.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

'मापनातून ज्ञानप्राप्ती' हे बोधवचन भौतिकशास्त्राच्या प्रत्येक प्रयोगशाळेने आपल्या डोळ्यासमोर ठेवावे असे एक वाक्य कामरलिंघ ओन्सने लेडन विद्यापीठात दिलेल्या पहिल्याच व्याख्यानात उच्चारले होते. त्यानंतरच्या अेकेचाळीस वर्षात, त्याने उभारलेल्या प्रयोगशाळेत त्याच्या मार्गदर्शनाखाली झालेल्या संशोधनाचे सम-र्पक वर्णन, "मापनातून ज्ञानप्राप्ती" या दोन शब्दानी होईल. त्याने लेडन विद्यापीठात उभारलेली प्रयोगशाळा शीत तपमानविषयक उत्कृष्ठ संशोधनसाठी प्रसिद्ध झाली. आमस्टरडाम विद्यापीठातील भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक व मित्र-स्थानी असणारा प्रा. व्हान डेर वाल यांच्या वायुविषयक संशोधनातून स्फूर्ती घेऊन, त्याने अतिशीत तपमान विषयीचे संशोधन हेच आपले प्रमुख कार्यक्षेत्र

मानले. व्हान डेर वालच्या स्थितीविषयक समीकरणातून काढलेल्या समान स्थिती–विषयक नियमात त्याला विशेष रस होता. १८८१ मध्ये डेल्फ्ट पॉलीटेक्निकमध्ये अध्यापन कार्य करीत असता, त्याने वायू व द्रव अवस्थेतील पदार्थाविषयी, पदार्थांच्या चल उपपत्तीवर आधारलेली एक नवीन उपपत्ती मांडली होती. बऱ्याच भिन्न भिन्न तपमानाला, भिन्न भिन्न दाबाखाली वायूचे घनफळ अचूक मोजल्या–खेरीज, नवीन उपपत्ती मांडण्याचा प्रयत्न करण्यात काही अर्थ नाही असे ओळखून त्याने अतिशीत तपमान मिळविण्याच्या व ते दीर्घ काळपर्यंत टिकविण्याच्या प्रश्ना–कडे लक्ष पुरवले.

अतिशीत तपमान मिळविण्याचा प्रश्न वायुंच्या द्रवीकरण प्रश्नाशी निगडित आहे. द्रव ऑक्सिजन हाताशी असल्यास, नेहमीच्या वातावरणाइतक्या दाबाखाली त्याचा उत्कलनबिंदु – १८३° से. असल्याने – १८३° से. हे तपमान प्रयोग करण्या-साठी वापरता येते. द्रव नायट्रोजनच्या सहाय्याने – १९५.७° से. व द्रव हायड्रो–जनच्या सहाय्याने – २५२.७° से. तपमान प्रयोगात वापरता येते. तर द्रव हेलियम उपलब्ध असल्यास शून्य केवळ तपमानाच्या फक्त चारच अंश वर म्हणजे – २६९° से. ला प्रयोग करता येतात. सुरवातीला वायूचे द्रवात रुपांतर हेच एक मुख्य साध्य होते. लेडनच्या अतिशीत तपमान प्रयोगशाळेत मात्र अतिशीत तप–मानास पदार्थांचे गुणधर्म काय असतात किंवा त्या तपमानास पदार्थांच्या नेहमीच्या गुणधर्मात काय फरक होतो याचा अभ्यास करण्यासाठी वायूंचे द्रवीकरण अेक साधन म्हणून वापरले गेले.

वायूचे तपमान खाली आणण्यासाठी तीन भिन्न पद्धती त्यावेळी माहीत होत्या व त्यातील प्रत्येक पद्धतीचा वायुंच्या द्रवीकरणासाठी उपयोग केला गेला. खूप दाबाखाली असलेल्या वायूचे घनफळ अचानक वाढवून, वायूचे तपमान खाली आणण्याची पद्धत फ्रान्समधील अेल्. पी. कॅलेटेट या शास्त्रज्ञाने शोधून काढली. शेकडो वातावरण दाबाखाली ठेवलेला ऑक्सिजन प्रथमतः द्रव सल्फर डाय ऑक्साइडने – २९° से. पर्यंत थंड करुन, नंतर त्याचे अचानक प्रसरण होऊ दिल्याने, त्या ऑक्सिजनचे तपमान खूपच खाली उतरले व वायू ठेवला होता त्या जागेत धुके निर्माण झाले. द्रव ऑक्सिजनच्या सूक्ष्म थेंबामुळे ते धुके निर्माण झाले असे मत कॅलेटेटने व्यक्त केले.

ऑक्सिजन वायूचे तपमान उतरवण्याचा प्रयोग फ्रान्समध्ये कॅलेटेटने केला, त्याच वर्षी १८७७ मध्ये जिनेव्हामधील आर्. पी. पिक्टेट या शास्त्रज्ञाचे वायूचे

तपमान कमी करण्याचे प्रयोग चालू होते. द्रवाचे अतिशय जलद गतीने बाष्पात रुपांतर केल्यास, तपमान खाली उतरते असे त्याला आढळले होते. वायूचे शीतकरण टप्याटप्याने घडवून आणण्याची त्याने अेक पद्धत बसविली. द्रव सल्फर डाय ऑक्साइड कमी दाबाखाली उकळू देऊन, त्याच्या सहाय्याने द्रव कार्बन डाय ऑक्साइडचे तपमान – ७०° से. पर्यन्त उतरवले. नंतर ऑक्सिजन ठेवलेल्या पात्राबाहेर – ७०° से. पर्यन्त थंड केलेला कार्बन डाय ऑक्साइड ठेवून, त्या द्रव कार्बन डाय ऑक्साइडचे जलद गतीने बाष्पात रूपांतर होऊ दिल्यास, ऑक्सिजनचे तपमान – १४०° से. पर्यन्त म्हणजे त्या वायूच्या क्रिटिकल* तपमानाखाली उतरते. –१४०° से. पर्यन्त थंड केलेल्या ऑक्सिजनवर पाचशे वातावरणाइतका दाब दिल्यास त्याचे द्रव ऑक्सिजनमध्ये रुपांतर होते. क्रॅको येथील झेड्.अेफ्. रोबलेवस्की आणि के. अेस्. ओल्सझेवस्की या शास्त्रज्ञद्वयाने पिक्टेटच्या पद्धतीत १८८३ मध्ये थोडी सुधारणा केली. – ७०° से. पर्यन्त थंड केलेला कार्बन डाय ऑक्साइड वापरण्याअैवजी त्यानी –१००° से. पर्यंत थंड केलेला इथिलिन वायू ऑक्सिजनच्या शीतकरणासाठी वापरला, व त्याचे जलदगतीने निर्वातात बाष्पीभवन करुन – १३६° से. हे तपमान मिळवले. त्यानंतर –१३६° से. पर्यन्त थंड केलेल्या ऑक्सिजनवरील दाब वाढवून, वीस वातावरण दाबाखाली त्यानी द्रव ऑक्सिजन मिळविला. त्याच वर्षी शीतकरणाची तीच पद्धत वापरुन, त्या शास्त्रज्ञ द्वयाने द्रव नायट्रोजन मिळविला.

१८८४ मध्ये कॅलेटेटची पद्धत वापरुन, रॉबलेवस्कीने शीतकरणासाठी द्रव ऑक्सिजन वापरला व द्रव हायड्रोजनचे धुके मिळवले. द्रव हायड्रोजन मिळवण्यासाठी मात्र १८९६ साल उजाडावे लागले. १८९६ मध्ये द्रव हायड्रोजन मिळवून ओल्सझेवस्कीने त्याचा उत्कलनबिंदु आहे ते ठरविले, कॅलेटेटची किंवा पिक्टेटची पद्धत वापरुन, वायुंचे द्रवीकरण करता आले. पण भरपूर प्रमाणात द्रव मिळाले नाहीत. वायूचे द्रवीकरण करता येते अेवढे म्हणण्या पुरताच त्या पद्धतीचा उपयोग झाला. यानंतर टप्याटप्याने तपमान खाली उतरवत नेण्याच्या पिक्टेटच्या पद्धतीत सुधारणा करुन,इंग्लंडमधील जेम्स देवर या शास्त्रज्ञाने१८९२ मध्ये एक पॉइन्ट द्रव ऑक्सिजन मिळविला. शीतकरणाच्या सुरवातीच्या या प्रयोगातून खूपच महत्वाची व उपयुक्त माहिती आणि अनुभव मिळाला.

---

* ज्या तपमानास किंवा ज्याहून कमी तपमानास वायूचे द्रवामध्ये रुपांतर करता येते, पण वायूचे तपमान ज्याहून किंचितही जास्त असल्यास वायूवर कितीही दाब दिला तरी त्या वायूचे द्रवीकरण करता येत नाही त्या विशिष्ट तपमानास, त्या वायूचे क्रिटिकल तपमान म्हणतात.

शीतकरणाची तिसरी पद्धत १८५० मध्ये जे. पी. ज्यूल आणि डब्ल्यु. थॉम-सन (उत्तरायुष्यात लॉर्ड केल्व्हिन) यांनी शोधून काढली होती. दाबाखाली असलेला वायू, सूक्ष्म छिद्रावाटे बाहेर जाऊ दिला तर त्याचे तपमान खाली उतरते असे या शास्त्रज्ञद्वयाला आढळले होते. खूप दाबून भरलेल्या टायरमधील हवा टायरला भोक पडल्यास, त्या भोकातून बाहेर येत असता थंड वाटते ती या ज्यूल-थॉमसन परिणामामुळे. वायू एखाद्या सूक्ष्म छिद्रावाटे बाहेर जाऊ दिल्यास, त्याचे तपमान किती खाली उतरणार हे त्या त्या वायूवर अवलंबून असते. छिद्राच्या आतील व बाहेरील या दोन्ही बाजूंच्या वायुच्या दाबातील फरकावर, वायुच्या तपमानात होणारी घट अवलंबून असते. आतील व बाहेरील वायुच्या दाबातील फरक जास्त असल्यास तपमानातील घट जास्त असते व दाबातील फरक कमी असल्यास तप-मानाची घट कमी असते. तसेच जास्त दाबाखाली असलेल्या वायूचे तपमान कमी असल्यास, तपमानातील फरक जास्त होतो. जास्त दाबाखालील हवा सर्वसाधारण तपमानास असल्यास, दर वातावरणदाबातील फरकामुळे तपमान $\frac{1}{4}^{\circ}$ ने खाली उतरते. पण हायड्रोजन आणि हेलियम या वायूंच्या बाबतीत मात्र प्रकार उलटा होतो. दाबाखाली असलेले हे वायू छिद्रावाटे बाहेर जाऊ दिल्यास, तपमान खाली होण्याऐवजी वाढते. हायड्रोजन वायू मुळात -८०$^{\circ}$ से.ला किंवा त्याहून कमी तप-मानाला असल्यास मात्र, तो वायू छिद्रातून बाहेर पडल्यावर त्याचे तपमान कमी होते. छिद्रातून वायू बाहेर जाऊ देऊन, त्याचे तपमान उतरवायचे असल्यास, हेलि-यमचे मूळ तपमान उतरावयाचे असल्यास, हेलियमचे मूळ तपमान – ८०$^{\circ}$ से. हून खूपच कमी असावे लागते.

१८९५ मध्ये म्युनिचमधील प्रो. कार्ल लिंडे याने हवेच्या द्रवीकरणासाठी अेक नवीन प्रकारचे उपकरण तयार केले. या उपकरणात ज्यूल-थॉमसन परिणा-माच्या जोडीला अेक regenerative किंवा पुनर्जीवन पद्धत वापरली होती. दोन अेककेंद्रित नलिकांचे गोलगोल जाणारे वेटोळे करून, त्या अेककेंद्रित नलिकापैकी आतल्या नलिकेत, दाबाखालील हवा सोडायची, वेटोळ्याच्या आतल्या नलिकेतील दाबाखालील हवा छिद्रावाटे बाहेर गेल्यावर थंड होते व अेककेंद्रित नलिकापैकी बाहेरच्या नलिकेतून वाहू लागते. त्यामुळे आतल्या नलिकेतील दाबाखालील हवा, छिद्रापर्यंत पोहोचेपर्यंत थंड होते. थंड केलेली हवा पुन्हा दाबाखाली आणून, पहिल्यासारखीच नलिकांच्या वेटोळ्यातून जाऊ दिल्यास तिचे तपमान आणखी खाली उतरते. अशा रितीने अेककेंद्रित नलिकातील आतल्या नलिकेतील छिद्रातून हवा बाहेर जाऊ देऊन व त्या थंड हवेचा उपयोग दाबाखालील हवेचे तपमान

उतरवण्यासाठी पुन्हा पुन्हा करीत राहिल्यास हवेचे द्रवीकरण होते, व ती द्रव हवा देवरने १८९२ मध्ये तयार करायला सुरवात केलेल्या निर्वात पात्रात किंवा थर-मॉस पात्रात गोळा करता येते. प्रो. लिंडेचे हवेच्या द्रवीकरणाचे जर्मनीत प्रयोग चालू होते, त्याच सुमारास इंग्लंडमध्ये डब्लु. हॅम्पसन नावाच्या शास्त्रज्ञाने लिंडेच्या उपकरणासारखेच उपकरण तयार केले. हायड्रोजन व हेलियम वायूंचे द्रवीकरण करायचे असल्यास, ते प्रथमत: पुरेसे थंड करून त्यांचे तपमान क्रिटिकल तपमानाखाली आणल्यानंतर, ते रिजनरेटिव्ह किंवा पुनरोपयोग कृतीसाठी वापरावे लागतात. लिंडे आणि हॅम्पसन यांच्या उपकरणासारखे उपकरण वापरून, लंडन-मधील रॉयल इन्स्टिटयूशनचे रसायनशास्त्राचे फुलेरियन प्राध्यापक देवर यानी १८९६ मध्ये हायड्रोजन वायूचे प्रथमच द्रवात रुपांतर केले. द्रव हवेच्या सहाय्याने हायड्रोजन वायू प्रथमत: -190° से. पर्यन्त थंड करुन व नंतर अेककेन्द्रित नलि-कांच्या वेटोळयात रिजनरेटिव्ह किंवा पुनरुपयोग कृतीसाठी पुन्हा पुन्हा वापरुन आणि दोनशे वातावरण दाबाखाली असलेल्या हायड्रोजनच्या घनफळाची वृद्धी करून, देवरने द्रव हायड्रोजन मिळविला. पण द्रव हायड्रोजनची विशिष्ट घनता फार कमी म्हणजे ०·०७ असल्याने, द्रव हायड्रोजन नेहमीच्या उघडया तोंडाच्या निर्वात पात्रात गोळा करता आला नाही. द्रव हायड्रोजन गोळा करण्यासाठी अेका वेगळया पात्राची रचना करावी लागली. ते पात्र तयार झाल्यानंत र १० में १८९६ रोजी द्रव हायड्रोजनचा पहिला नमुना शास्त्रज्ञांना पाहायला मिळाला.

वायू टप्प्याटप्प्यानी थंड करण्याची पिक्टेटची पद्धत व लिंडेची रिजनरेटिव्ह किंवा पुनरुपयोग पद्धत या दोन्ही पद्धतींचा समन्वय कामरलिंघ ओन्सने हायड्रो-जनच्या द्रवीकरणासाठी वापरलेल्या पद्धतीत झाला होता. नोबेल पारितोषिक वितरण समारंभानंतर जर्मन भाषेत दिलेल्या व्याख्यानात कामरलिंघ ओन्सने त्या पद्धतीचे वर्णन केले आहे. ते वर्णन त्याच्याच शद्बात समजावून घेणे मनोवेधक ठरेल.

" व्हान डेर वालने वायुविषयी मांडलेली उपपत्ती व विशेषत: त्याने मांडलेला समान स्थिती विषयीचा नियम यांच्या अनुरोधाने मी लेडन विद्यापीठात वायुंच्या द्रवीकरणाविषयी संशोधन केले. साध्या रासायनिक रचनेचे व क्रिटिकल तपमान अतिशय कमी असलेले पदार्थ शीतकरणासाठी घेतल्यास, त्यांच्या गुणधर्मात साम्य आढळते का नाही व व्हान डेर वालच्या समानस्थितीच्या नियमाप्रमाणे त्यांची वर्तणूक आहे का नाही हे पाहिल्यास, अशा पदार्थाविषयी खूपच माहिती मिळेल असे मला वाटले. अशा प्रकारच्या अभ्यासा-

साठी, स्थिर तपमान मोजण्यासाठी, आकाराने मोठी उपकरणे तयार करणे व संशोधनासाठी वापरायच्या सर्व शीत तपमानात वापरता येतील अशी मोठी स्थिर तपमानपात्रे तयार करणे अवश्य होते.

या कल्पना प्रत्यक्ष व्यवहारात कशा आणायच्या, याचा विचार करीत असता, रोबलेवस्की व ओल्सझेवस्की यांचे ऑक्सिजनच्या द्रवीकरणा-विषयीचे संशोधन प्रसिद्ध झाले. त्यानंतर विशिष्ट तपमानास हायड्रोजनचे घनफळ व दाब यात होणाऱ्या फरकाचा अभ्यास करण्याच्यादृष्टीने व विशेषेकरुन हायड्रो-जनचे द्रवीकरण करण्याच्या दृष्टीने, द्रव ऑक्सिजन शीतकरणासाठी वापरणे अवश्य ठरले. पण लेडन येथील शीतकरण प्रयोगशाळेची उभारणी पुरी होईपर्यन्त म्हणजे आणखी दहा वर्षे तरी द्रव ऑक्सिजनच्या तपमानास नेलेल्या हायड्रोजनचे घनफळ व दाब यातील फरकांचा अभ्यास करणे शक्य झाले नाही. शीतकरण प्रयोगशाळेच्या उभारणीचे काम पुरे झाल्यानंतर, शीतकरणासाठी द्रव ऑक्सिजन वापरणे शक्य झाले. हे होईपर्यन्त ओल्सझेवस्कीने पोलंडमध्ये व देवरने इंग्लंडमध्ये द्रव ऑक्सिजन उघड्या भांड्यात कसा ओतायचा व वापरायचा हा प्रश्न सोडवला होता.

लेडनच्या प्रयोगशाळेत मी इतरांपेक्षा वेगळी कार्यपद्धती अवलंबिली. द्रव ऑक्सिजन शीतकरणासाठी पाहिजे तितका वेळ वापरायला मिळावा यासाठी द्रव ऑक्सिजनचे वायू स्थितीत रुपांतर झाल्यावर, त्या ऑक्सिजनचे पुन्हा द्रवात रुपां-तर करण्यात आले व तो ऑक्सिजन मुळीसुद्धा बाहेर हवेत जाऊ दिला नाही. लेडन प्रयोगशाळेच्या उपकरण साहित्यात वाढ झाल्यानंतर, वायूचे द्रवात रुपांतर, द्रव वापरत असता त्या द्रवापासून मिळणाऱ्या बाष्पाचे पुन्हा द्रवात रुपांतर व त्या द्रवाचा पुन्हा वापर अशा प्रकारची कार्यपद्धती बसविण्याकडे आम्ही जास्त लक्ष पुरवले. त्यामुळे आम्हाला पहिल्यापेक्षा जास्त शीत तपमानाला, वायुंच्या गुण-धर्माचा अभ्यास करणे शक्य झाले. अशारीतीने प्रथमतः मिळालेल्या अनुभवाचा आम्हाला नंतरच्या संशोधनात फायदा मिळाला. हेलियमचे द्रवीकरण करण्याच्या बाबतीत आम्हाला प्रथमतः केलेल्या प्रयोगात मिळालेला अनुभव खूप उपयोगी पडला. आम्ही केलेल्या सुरवातीच्या प्रयोगांच्या खाणाखुणा अजूनही लेडनच्या प्रयोगशाळेत आढळतील.

आता मी त्या प्रयोगशाळेत केलेल्या प्रयोगाबद्दलची माहिती देणार आहे.

आताच मी सांगितल्याप्रमाणे, स्थिर शीत तपमानपेटीत ठेवलेल्या द्रवीभूत वायूच्या सहाय्याने, पाहिजे तितका वेळ शीत तपमान ठेवून, आम्ही त्या तप–मानास ' वायूंचा दाब व घनफळ ' यात होणाऱ्या फरकांचा अभ्यास केला. द्रवीभूत वायू शीतकरणासाठी वापरत असता, त्या द्रवीभूत वायूपासून मिळालेल्या बाष्पाचे पुन्हा द्रवात रुपांतर करुन, तो द्रव पुन्हा शीतकरणासाठी वापरण्याचा मार्ग आम्ही स्वीकारला.

पिक्टेटने केलेल्या वायूंच्या द्रवीकरणाच्या प्रयोगात, वायुंचे तपमान टप्प्या–टप्प्याने खाली उतरवले होते. पहिल्या टप्प्यात थंड केलेल्या वायूचा उपयोग, दुसऱ्या टप्प्यात करुन, वायू पहिल्या पेक्षा जास्त थंड केला होता. दुसऱ्या टप्प्यात थंड केलेला वायू तिसऱ्या टप्प्यात शीतकरणासाठी वापरायचा अशारीतीने वायूचे तपमान टप्याटप्प्याने उतरवत नेऊन सरते शेवटी त्याचे द्रवात रुपांतर करण्याची पद्धत स्वीकारली होती.

पहिल्या टप्प्यात द्रव मेथिल क्लोराइड शीतकरणासाठी वापरले होते. थंड केलेल्या द्रव मेथिल क्लोराइडचे दाबाखाली बाष्पीभवन होऊ दिल्यास, इथिलीन वायूचे द्रवात रुपांतर करण्यास अवश्य ते तपमान मिळते. मेथिल क्लोराइड शीत-कारक म्हणून वापरत असता, त्याचे बाष्प होत असते व त्याच्या सान्निध्यातील पदार्थ थंड होत असतो. मेथिल क्लोराइडचे बाष्प निर्वात पंपाच्या सहाय्याने पुनरु-पयोग नलिकात पाठवले जाते. तेथे त्यावर दाब देऊन, त्याचे पुन्हा द्रवात .रुपांतर करतात. दुसऱ्या टप्प्यात द्रव इथिलीन शीतकरणासाठी वापरुन द्रव ऑक्सिजन मिळवतात. पहिल्या टप्प्यात ज्याप्रमाणे द्रव मेथिल क्लोराइडचे बाष्प निर्वात पंपाच्या सहाय्याने पुनरुपयोग नलिकात पाठवून, त्यावर दाब देऊन त्याचे द्रवात रुपांतर करतात, तोच प्रयोग दुसऱ्या टप्प्यात इथिलीनवर करतात. तिसऱ्या टप्प्यात द्रव ऑक्सिजन द्रव मेथिल क्लोराइड व द्रव इथिलीनसारखा शीतकरणा–साठी वापरतात व द्रव हवा मिळवितात.मी केलेल्या स्थिर शीततपमान पेटीत निर्वात पात्रे न वापरता मी द्रव ऑक्सिजन उपयोगात आणला होता. स्थिर शीत तपमान पेटी द्रवीकरण उपकरणास जोडली होती. त्यामुळे द्रवीकरण उपकरणाच्या अगदी नजिकच्या सान्निध्यात असलेल्या वायूचे गुणधर्म अभ्यासता येत होते. आतल्या बाजूने पारा लावून चकचकित केलेल्या बाजू व पात्राच्या आतल्या व बाहेरच्या बाजूमध्ये निर्वात असलेली पात्रे वापरात आणून, देवरने शीत तपमानास काम करण्याच्या तंत्रात क्रांती केली आहे. त्यामुळे निर्वात पात्रात द्रव ऑक्सिजन ठेवून,

तो जेथे प्रयोगात वापरावयाचा आहे, तेथे नेता येतो. टप्प्याटप्प्याने तपमान खाली उतरवत न्यायच्या व त्यानंतरच्या शीत तपमान विषयीच्या संशोधनात देवरपात्रांचा मला फार उपयोग झाला.

टप्प्याटप्प्याने तपमान उतरवत असता चवथ्या टप्प्यात द्रव हवा मिळते. बाकीच्या पहिल्या तीन टप्प्यातले काम/ बंद ठेवले तरी या चवथ्या टप्प्यातले शीतकरणाचे काम चालू ठेवता येते. बाजूच्या उपकरणातील हवा उपकरणात घेता येते व तयार झालेली द्रव हवा उघड्या तोंडाच्या देवर निर्वात पात्रात ठेवता येते.

पाहिजे तितका वेळ द्रव ऑक्सिजन, पात्रात ठेवण्याची पद्धत आम्ही शोधून काढल्यानंतर लिंडेने द्रव हवा मोठ्या प्रमाणावर तयार करण्याचा उद्योग सुरू केला. लिंडेच्या पद्धतीने कार्य केल्यास, हवेचे तपमान टप्याटप्याने खाली करीत सरते शेवटी तिचे द्रव हवेत रुपांतर करण्याची जरूरी राहिली नाही. द्रव हायड्रोजन व द्रव हेलियम तयार करण्यासाठी, त्याचे तपमान टप्याटप्याने खाली न आणता, त्यांचे सरळ द्रवामध्ये रुपांतर करण्याची पद्धत लिंडेच्या पद्धतीतील मूलभूत तत्त्वावर अवलंबून आहे. पण तरीसुद्धा द्रव हवा मिळविण्यासाठी हवेचे तपमान टप्प्याटप्प्याने उतरवत नेण्याची पद्धत आम्ही स्वीकारली. त्यामुळे हवेचे रुपांतर करण्याचा खर्च कमी करता आला व तासाला चौदा लिटर द्रव हवा तयार करता येणे आम्हाला शक्य झाले.

आता यानंतर द्रव हायड्रोजन तयार करण्याच्या कृतीकडे आपण वळू या. वायूंच्या गुणधर्मात साधर्म्य असले पाहिजे असे ओळखून मी वायूंच्या क्रिटिकल तपमानाचा अभ्यास केला. ओल्सझेवस्कीने याविषयी केलेला अभ्यास मी पुन्हा तपासून पाहिला. त्यावरुन माझे असे मत झाले की योग्य प्रकाराचे उपकरण उभारण्यात आम्ही यशस्वी झालो तर ज्या उपकरणात सर्वसाधारण तपमानाला असलेल्या ऑक्सिजनचे द्रव ऑक्सिजनमध्ये रुपांतर करता येते, त्याच उपकरणाच्या सहाय्याने द्रव ऑक्सिजनच्या तपमानाला असलेल्या हायड्रोजनचे द्रव हायड्रोजनमध्ये रुपांतर करणे शक्य आहे. मनाशी ठरवलेल्या पद्धतीप्रमाणे काम करुन, मी द्रव हायड्रोजन मिळवायच्या अगोदरच इग्लंडमधील देवर द्रव हायड्रोजन मिळविण्यात यशस्वी झाला. द्रव हायड्रोजन मिळविता येणे शक्य झाल्याने, द्रव हवेचा उपयोग करून आम्ही जितके ०° केवळ तपमानाच्या जवळ जाऊ शकत होतो, त्यापेक्षा ६°

केवळ तपमानाच्या अधिक जवळ जाणे आम्हाला शक्य झाले. लेडनच्या प्रयोग-शाळेत आम्ही उभारलेल्या उपकरणात, शीतकरणाचे काम सतत चालू ठेवता येईल, अशी यंत्रणा होती. द्रव हवेचे कमी दाबाखाली बाष्पीभवन करून मिळा-लेल्या शीत तपमानाला, दाबाखाली असलेला हायड्रोजन ठेवला व तेथून तो पुन-रुपयोग नलिकामध्ये जाण्याची व्यवस्था केली, व या नलिकामध्ये थ्रॉटल व्हाल्व्ह किंवा झडप ठेऊन, बाहेर जमा होणारा द्रव हायड्रोजन या झडपेद्वारे आतून चक-चकीत केलेल्या देवरच्या निर्वात पात्रात जमा करता येईल अशी व्यवस्था केली. हॅम्पसनने हवेचे द्रवात रूपांतर करण्यासाठी जी यंत्रणा वापरली होती, त्याच यंत्रणेच्या धर्तीवर पुनरुपयोग नलिकांची रचना केली होती. देवरच्या निर्वात-पात्रात द्रव हायड्रोजन जमा व्हायचा व तेथून सायफनच्या सहाय्याने तो येथून तेथे नेता येईल अशा लहान आकाराच्या देवर पात्रात यायचा.

निरनिराळ्या स्थिर तपमानाला, हेलियमचा दाब व घनफळ यात होणाऱ्या फरकांचा अभ्यास, त्या वायूचे द्रवात रुपांतर करण्याच्या दृष्टीने अतिशय महत्वाचा होता. अशा अभ्यासामुळे तो वायू व्हान डेर वालचा समानस्थितीविषयीचा नियम पाळतो किंवा नाही हे समजणार होते, आणि तो वायू त्या नियमात बसतो असे समजल्यास त्या वायूचे क्रिटिकल तपमान, क्रिटिकल दाब आणि क्रिटिकल घनफळ या गोष्टी समजणार होत्या. द्रव हायड्रोजनच्या तपमानापर्यंत तो वायू थंड करता येणे शक्य असल्याने, तो वायू द्रव हायड्रोजनच्या तपमानापर्यंत थंड करून मग त्या वायूवर लिंडेच्या पद्धतीप्रमाणे प्रयोग केल्यास, त्याचे द्रवात रूपांतर करणे शक्य आहे की नाही याचा निर्णय लागणार होता. तो निर्णय होकारार्थी लागल्यास हवेच्या द्रवीकरणासाठी उभारलेल्या हॅम्पसनच्या उपकरणासारखे ज्याप्रमाणे हाय-ड्रोजनच्या द्रवीकरणासाठी उपकरण उभारले, त्याप्रमाणे हायड्रोजन हेलियम या-मध्ये साम्य आहे असे धरून हेलियमच्या द्रवीकरणासाठी उपकरण उभारावयाचे होते. त्यामुळे ज्या तपमानाला हेलियम बॉइलच्या दाब x घनफळ = स्थिरांक या नियमाचे पालन करतो ते बॉइल तपमान हायड्रोजनच्या विलयबिंदूहून अधिक आहे की काय हे पाहाणे आले. हेलियमचे बॉइल तपमान हायड्रोजनच्या विलयबिंदूहून अधिक असल्यास, हायड्रोजनचे ज्या पद्धतीने द्रवात रूपांतर केले, तीच पद्धत वापरून, हेलियमचे द्रवात रूपांतर करणे शक्य होते. वेगवेगळ्या स्थिर तपमानाला हेलियमचा दाब व घनफळ यातील फरकांच्या अभ्यासाने, हेलियमचे द्रवात रूपांतर करणे शक्य आहे असे ठरले.

योग्य प्रकारे थंड केलेला व दाबाखाली असलेला हेलियम शीतकरण पेटीत आणला जातो. या पेटीत शीतकरणाचे काम द्रव हायड्रोजनच्या सहाय्याने केले जाते. कमी दाबाखाली द्रव हायड्रोजन उकळू लागल्यावर, त्याच्या सान्निध्यात असलेल्या पदार्थाचे तपमान कमी होऊ लागते. हायड्रोजनचे बाष्प नंतर पुनरुपयोग नलिकात नेऊन, थ्रॉटल व्हाल्व्हमधून बाहेर सोडून त्याचे घनफळ वाढविण्यात येते व त्याचे पुनः द्रवात रूपांतर होते. अशा रीतीने द्रव हायड्रोजन पुनः पुनः शीतकरणासाठी वापरला जातो. लिन्डे पद्धतीच्या उपकरणात ज्याप्रमाणे देवर निर्वात पात्रात द्रव हायड्रोजन गोळा करतात, त्याचप्रमाणे आमच्या या उपकरणात देवर निर्वात पात्रात द्रव हेलियम गोळा होतो. द्रव हेलियमचे निरीक्षण-परीक्षण करता यावे यासाठी त्या निर्वात पात्राचे बूड व खालची बाजू पूर्णपणे पारदर्शक असते. द्रव हेलियम ठेवलेले निर्वात पात्र, द्रव हायड्रोजनने भरलेल्या त्या सारख्याच दुसऱ्या एका निर्वात पात्रात असते व हे दुसरे निर्वात पात्र द्रव हवेने भरलेल्या त्या सार–ख्याच तिसऱ्या एका निर्वात पात्रात असते; आणि ही तिन्ही निर्वात पात्रे अल्कोहोलने थंड केलेल्या चवथ्या निर्वात पात्रात असतात.

द्रव हायड्रोजन जमा करून ठेवलेल्या पात्रातून, शीतकारक पेटीला द्रव हाय-ड्रोजनचा पुरवठा होत असतो. शीतकारक पेटीत हेलियम थंड होण्याआधी तो कोळशाचे चूर्ण भरलेल्या नलिकेद्वारा शीतकारक पेटीत आणला जातो. कोळशाचे चूर्ण भरलेल्या नलिकेभोवती द्रव हवा असल्याने, ती द्रव हवेच्या तपमानाला असते त्या तपमानाला कोळशाच्या चूर्णावर हेलियममध्ये अशुद्धता म्हणून असलेल्या हवेचे पृष्ठशोषण होते व फक्त शुद्ध हेलियम शीतकारक पेटीत जातो. हेलियम शुद्ध करण्यासाठी कोळशाचे चूर्ण वापरावे ही कल्पना आम्ही देवरच्या प्रयोगातून घेतली. या अत्यंत उपयुक्त कल्पनेबद्दल देवर यांचे आभार मानायलाच पाहिजेत.

हेलियमच्या द्रवीकरणाच्या प्रयोगाला आम्ही सकाळी साडेपाचला सुरवात केली, आणि रात्री साडेनऊला आमचा प्रयोग संपला. हेलियमचे द्रवात रूपांतर होत असल्याची चिन्हे संध्याकाळी साडेसहाच्या सुमारास दिसू लागली. द्रव हेलि–यम निर्वात पात्रात गोळा झालेला पाहाणे हा एक अभूतपूर्व अनुभव होता. तो द्रव निर्वातपात्रात गोळा होताना दिसला नाही. निर्वात पात्र हेलियमने भरल्यानंतरच त्याचे अस्तित्व आम्हाला समजून आले. निर्वात पात्राच्या पारदर्शक बाजूतून, त्या द्रवाचा पृष्ठभाग दिसू लागल्यावरच, पात्रात द्रव गोळा झाल्याचे आम्हाला समजले.

माझे पूज्य मित्र व्हान डेर वाल याना द्रव हेलियम दाखवताना माझे अंतःकरण आनंदाने भरुन आले होते. त्यांनी मांडलेल्या उपपत्तीमुळेच, हेलियमचे द्रवात रुपांतर करण्याचा मार्ग मला सापडला.

संशोधनाचे परिणाम

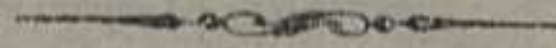
लेडन विद्यापीठातील कामरलिंघ ओन्सच्या, द्रव हेलियम तयार करण्याच्या प्रयोगाचे महत्त्व द्रव हेलियमच्या गुणधर्मात आहे. द्रव हेलियमचा उत्कलन बिंदू – २६८.८° से. आहे. म्हणजे ०° केवळ तपमानाच्या फक्त ४° पर्यन्त आपण द्रव हेलियमच्या सहाय्याने जाऊ शकतो. ४° केवळ तपमानाहूनही खालच्या तपमानास जाण्याच्या उद्देशाने कामरलिंघ ओन्सने घन हेलियम मिळविण्याचा प्रयत्न केला. पण या प्रयत्नात तो अयशस्वी झाला. कमी दाबाखाली द्रव हेलियम उकळवल्यास १° केवळ तपमानापर्यन्त आपण जाऊ शकतो असे त्याने १९१० मध्ये दाखवले तर १° केवळ तपमानाच्याही खालच्या तपमानास जाता येते असे त्याने १९२१ मध्ये दाखवले. पण घन हेलियम त्याला काही तयार करता आला नाही. त्याचा मृत्यू झाल्यानंतर त्याच्याच पाठोपाठ लेडन विद्यापीठाच्या भौतिकीशास्त्र विभागाचा प्रमुख झालेल्या डब्ल्यु. अेच्. कीसॉमने द्रव हेलियम दाबाखाली – २७२° से पर्यन्त थंड करुन १९२६ साली घन हेलियम मिळविला.

०° केवळ तपमानाच्या जवळ जाण्याचे प्रयत्न चालू असताच, कामरलिंघ ओन्स व त्याचे सहकारी त्या अतिशीत तपमानास पदार्थांचे कायिक गुणधर्म काय असतात याचा अभ्यास करीत होते. त्यांच्या अभ्यासाचे निष्कर्ष त्यानी पुस्तकरुपाने वेळोवेळी प्रसिद्ध केले. “ लेडन येथील भौतिकीशास्त्राच्या प्रयोगशाळेतील संशोधनाचा वृत्तांत ” या नावाखाली ही पुस्तके इंग्रजी भाषेत प्रसिद्ध झाली आहेत. या पुस्तकाखेरीज कामरलिंघ ओन्सच्या गौरवार्थ प्रसिद्ध झालेल्या दोन गौरव ग्रंथामध्ये कामरलिंघ ओन्सच्या शीततपमानाविषयक संशोधनाचा व इतर संशोधनाचा आढावा घेतलेला आहे. लेडन प्रयोगशाळेतून वेळोवेळी प्रसिद्ध केलेल्या निवेदन ग्रंथात व कामरलिंघ ओन्सच्या गौरवार्थ प्रसिद्ध केलेल्या गौरवग्रंथात, ओन्सच्या मार्गदर्शनाखाली दीर्घकाळपर्यन्त केलेल्या अत्यंत अचूक संशोधनाचा वृत्तांत आहे.

अत्यंत शीत तपमानाला पदार्थांचे गुणधर्म लेडनच्या प्रयोगशाळेत तपासले गेले. त्यात अत्यंत शीत तपमानाला पदार्थांच्या विद्युत्–विरोधातील फरक यांचेही परीक्षण झाले.

धातूंचे तपमान कमी केल्यास, त्याचा विद्युत्-विरोध कमी होतो हे अेकोणि-साव्या शतकाच्या सुरवातीपासून माहीत होते. त्यामुळे अतिशीत तपमानास, धातूचा विद्युत-विरोध फारच कमी होईल याची शास्त्रज्ञाना कल्पना होती. पण प्रत्यक्षात तो किती कमी होईल याची अटकळ त्याना करता येत नव्हती. १९११ मध्ये कामरलिंघ ओन्सने असे शोधून काढले की ०° केवळ तपमानाच्या जवळपास पोच-ल्यावर, धातूचा विद्युत्-विरोध जवळ जवळ नष्ट होतो; म्हणजे त्या अतिशीत तप-मानास धातुतारेच्या वेटोळयातून विद्युत्प्रवाह सोडल्यास तो काही तास तर काही प्रसंगी कित्येक दिवस चालू राहातो. हा प्रकार दाखविण्याचे तपमान भिन्न भिन्नधातूस भिन्न असते व ते तपमान त्या त्या धातूचे वैशिष्ठ्य असते. एकदा सुरू केलेला विद्युत्-प्रवाह, काहीही न करता तासंतास किंवा कित्येक दिवस चालू राहा-ण्याच्या या प्रकारास अतीव विद्युत्-वहन क्षमता असे नाव दिले आहे. या अतीव विद्युत्-वहनक्षमतेविषयी कामरलिंघ ओन्स व त्याचे सहकारी यानी बरेचसे संशोधन केले असले तरी हा विशिष्ट गुणधर्म धातूमध्ये अतिशीत तपमानास का याव याचे कारण अद्यापीही समजून आले नाही. अतिशीत तपमानास धातूमध्ये अतीव विद्युत्-वहनक्षमतेचे गुणधर्म आल्यानंतर, त्या धातूवर चुंबकीय क्षेत्राचा परिणाम घडवून आणल्यास, धातूमधील अतीव विद्युत्-वहनक्षमतेचा गुणधर्म नष्ट होतो असे कामरलिंघ ओन्सने शोधून काढले.

हेलियमचे द्रवात रूपांतर हे कामरलिंघ ओन्सचे सर्वात मोठे संशोधनकार्य असले तरी, लेडनच्या अतिशीत तपमान प्रयोगशाळेत निरनिराळया पदार्थांच्या गुणधर्मांत अतिशीत तपमानास होणाऱ्या फरकांचा त्याने केलेला अभ्यास हीच त्याच्या कार्याची मोठी आठवण आहे. अतिशीत तपमान मिळविण्यासाठी, लेडनच्या प्रयोगशाळेत त्याने उभे केलेले उपकरण साहित्य व तेथे चालू असलेले अतिशीत तपमान संशोधन यामुळे त्याची स्मृती सदैव ताजी राहील.



१९१४

मॅक्स थिओडोर फेलिक्स फॉन लावे

" रॉन्टजेन किरणांचे स्फटिकात होणाऱ्या वक्रीभवनाचा शोध लावल्याबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

प्रशियातील कोब्लेन्झ शहराजवळील फाफेनडॉर्फ गावात, ६ ऑक्टोबर १८७९ रोजी मॅक्स थिओडोर फेलिक्स फॉन लावेचा जन्म झाला. त्याचे वडील अेक लष्करी अधिकारी असल्याने, त्यांच्या वारंवार बदल्या होत. त्यामुळे वडिलाबरोबर त्यालाही वेगवेगळ्या गावातून राहावे लागले. ब्रॅन्डेनबर्ग आल्टोना पोसेन, बर्लिन व ट्रासबर्ग या गावातल्या शाळातून त्यांचे शालेय शिक्षण झाले. पॉसेन, बर्लिन, व ट्रासबर्ग यथल्या शाळात असताना शास्त्रविषयांचा अभ्यास करण्याची त्यास संधी मिळाली नाही किंवा त्यास त्या विषयाविषयीं कोणत्याही तऱ्हेची आवड निर्माण झाली नव्हती. म्हणून त्याने त्या शाळात असताना कला व वाङ्मय विषयांचा अभ्यास केला. स्ट्रासबर्गच्या प्रॉटेस्टंट जिम्नॅशियममध्ये प्रो. गोअरिंग यांच्या विज्ञानविषयक व्याख्यानामुळे त्यास विज्ञानविषयाबद्दल कुतूहल निर्माण झाले व त्याने विज्ञानविषयांच्या अभ्यासास सुरवात केली. १८९८ मध्ये त्याने शालेय शिक्षण संपवून, अेक वर्ष लष्करी नोकरीत घालविले. त्यानंतर १८९९ मध्ये त्याने स्ट्रासबर्ग विद्यापीठात प्रवेश मिळविला. पण लवकरच त्याने गॉटिन्जेन विद्यापीठाची वाट धरली. तेथे प्रो. डब्ल्यु व्हॉअिग्ट यांच्या भौतिकशास्त्रविषयक व्याख्यानानी प्रभावित होऊन त्याच विषयाचा विशेष अभ्यास करण्याचा त्याने

निर्णय घेतला. गॉटिन्जेनंतर म्युनिक विद्यापीठात काही काळ आणि त्यानंतर बर्लिन विद्यापीठात त्याने भौतिकशास्त्राचा अभ्यास केला. बर्लिन विद्यापीठात प्रो. मॅक्स प्लँक ऑप्टिक्स (प्रकाशशास्त्र) व थर्मोडायनॅमिक्स (उष्मगतिकशास्त्र) हे दोन विषय शिकवत असत. मॅक्स प्लँक यांच्या व्यक्तिमत्वाचा फॉन लावेवर इतका प्रभाव पडला की यापुढे प्रकाशशास्त्र व उष्मगतिकशास्त्र या दोन विषयात संशोधन करण्याचे त्याने ठरविले. बर्लिन विद्यापीठात प्रो. ओ. लमर यानी प्रति–रोध प्रकाशपटाविषयी (इंटरफेरन्स स्पेक्ट्रॉस्कोपी) दिलेल्या व्याख्यानातून त्याला प्रकाशशास्त्राचे प्रायोगिक ज्ञान मिळाले होते.

१९०३ मध्ये बर्लिन विद्यापीठाची पीअेच्. डी. पदवी संपादन केल्यानंतर, त्याने गॉटिन्जेन विद्यापीठात अध्यापन कार्याला सुरवात केली. तेथे दोन वर्षे काम केल्यानंतर १९०५ मध्ये, प्रो. प्लँकचा सहाय्यक म्हणून त्याची बर्लिन विद्या–पीठात नेमणूक झाली. अेक वर्षानंतर त्यास बर्लिन विद्यापीठाने अध्यापकीय काम द्यायला सुरवात केली. १९०९ मध्ये तो म्युनिक विद्यापीठात प्राध्यापकीय कामावर रुजू झाला. तेथे असताना क्षकिरणप्रतिरोध याविषयी त्याने संशोधन केले व त्या संशोधनाबद्दलच त्यास नोबेल पारितोषिक बहाल करण्यात आले. १९१२ मध्ये त्यास झुरिच विद्यापीठात दुय्यम प्राध्यापक नेमण्यात आले. १९१४ मध्ये फ्रँकफुर्ट विद्यापीठाने त्याची प्राध्यापक म्हणून नेमणूक केली. १९१६ पासून पहिले महायुद्ध संपेपर्यन्त तो वुर्झबर्ग येथे टेलीफोनीविषयक संशोधन करीत होता. बिनतारी. तारायंत्रामध्ये व टेलिफोनमध्ये वापरायच्या निर्वात नलिकाविषयी हे संशोधन होते. महायुद्ध संपल्यानंतर, बर्लिन विद्यापीठाने त्यास तात्त्विक भौतिकशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. हे काम त्याने १९४३ पर्यन्त पाहिले. १९४३ मध्ये प्राध्यापक–पदाचा राजिनामा देऊन, त्याने बर्लिन विद्यापीठाच्या कारभारातून स्वतःला मुक्त करुन घेतले. १९४६ मध्ये गॉटिन्जेन विद्यापीठाने त्याची माननीय प्राध्यापक म्हणून नेमणूक केली.

१९३२ मध्ये जर्मन फिझिकल सोसायटीने त्यास मॅक्स प्लँक पदक बहाल केले. १९३६ मध्ये इंग्लंडच्या मँचेस्टर विद्यापीठाने व १९४८ मध्ये अमेरिकेच्या शिकागो विद्यापीठाने त्यास माननीय डी. अेस्सी. पदवी अर्पण केली. १९४९ मध्ये लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास आपला परदेशस्थ सभासद करुन घेतले. बर्लिन ॲकडमी ऑफ सायन्स या संस्थेचा व इतर कित्येक वैज्ञानिक संस्थांचा तो सभासद होता.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

नोबेल पारितोषिक वितरण समारंभानंतर दिलेल्या व्याख्यानात फॉन लावेने प्रतिरोध विषयात आपण विशेष रस का घेऊ लागलो हे प्रथमतः सांगितले. त्याने पीअेच. डी. पदवीसाठी लिहिलेला संशोधन ग्रंथ याच विषयावर होता. बर्लिन विद्यापीठात १९०७ साली प्राध्यापक म्हणून नेमणूक होण्याआधी त्याने याच विषयावर संशोधन निबंध प्रसिद्ध केला होता. यानंतरही त्याने याच विषयाचा पाठपुरावा केला होता व आहे. १९०९ मध्ये त्यास म्युनिक विद्यापीठाने अध्यापक नेमले. याचा उल्लेख आला आहेच. त्यावेळी 'क्ष' किरणांचा शोध लावणारा डॉ. रॉन्टजेन याच विद्यापीठात संशोधन कार्य करीत होता. रॉन्टजेनच्या साहचर्याने, प्रतिरोध या विषयातील संशोधनाप्रमाणे त्याने क्ष किरणविषयी संशोधन सुरू केले. म्युनिकमध्ये त्यावेळी अर्नॉल्ड सॉमरफेल्ड हाही संशोधक क्ष किरण व गॅमाकिरण याविषयी संशोधन करीत होता. याच सॉमरफेल्डने पुढे अणूच्या रचनेसंबंधी महत्त्वाची उपपत्ती मांडली. सॉमरफेल्डच्या सांगण्यावरुन फॉन लावेने क्रॉस ग्रेटिंगच्या उपपत्तीविषयीचे गणिती संशोधन करायला सुरवात केली. काचपट्टीवर परस्पराना समांतर व परस्परांच्या अगदी जवळ जवळ खूप रेषा मारुन ग्रेटिंग किंवा जालक तयार करतात. काचपट्टीवर समांतर मारलेल्या रेषा समुच्चयाशी काटकोन करणारा दुसरा तशाच प्रकारच्या समांतर रेषांचा समुच्चय असल्यास क्रॉस ग्रेटिंग तयार होते. क्रॉस ग्रेटिंग विषयी गणिती संशोधन केल्याने, त्रिमिती ग्रेटिंग किंवा स्पेस ग्रेटिंग विषयी संशोधन हाती घेण्याची त्याची साहजिकच तयारी झाली.

म्युनिक बव्हेरिया प्रांताची राजधानी असल्याने, तेथेच बव्हारियन राष्ट्रीय पदार्थ संग्रहालय होते. त्या संग्रहालयात पॉल फॉन ग्रॉथ हा खनिजशास्त्रज्ञ खनिज-संग्रहाची देखभाल करीत असे. स्फटिकातील अणू अेकमेकाला चिकटून असत नाहीत, तर परस्परापासून ठराविक अंतरावर असतात, व त्यामुळे त्या अणूंचे अेक त्रिमिती जालक तयार होते ही कल्पना १८४८ मध्ये ऑगस्टे ब्राव्हेस याने मांडली होती. १८७९ मध्ये अेल्. सोहन्के या संशोधकाने ब्राव्हेसच्या कल्पनेचा पाठपुरावा व विस्तार केला होता. १८९१ मध्ये जे. अेस्. फॉन फेडेरोव व अे. शोनफ्लीज या संशोधकद्वयाने ब्राव्हेस व सोहन्के यांच्या कल्पना मान्य करुन, अणूचे त्रिमिती जालक दोनशे तीस प्रकारे तयार होते अशी उपपत्ती मांडली. फॉन फेडेरोव व शोनफ्लीज यांच्या उपपत्तीकडे भौतिक शास्त्रज्ञानी फारसे लक्ष दिले नाही. पण

ती उपपत्ती फॉन ग्रॉथ यांच्या तोंडून फॉन लावेने अैकली. त्या उपपत्तीतील मूळ कल्पना त्यास पटली. त्याच्या या पुढील संशोधनात ती उपपत्ती त्यास बरीच उप- योगी पडली.

यावेळी म्हणजे १९१२ च्या सुमारास, क्ष किरणांचे वास्तविक स्वरुप काय याबद्दल वादविवाद चालू होता. क्ष किरण हे जलद, वेगवान कण आहेत की प्रकाशलहरीसारख्या पण वेगळचा प्रकारच्या लहरी आहेत की ईथरमध्ये उत्पन्न होणारे स्फुरण आहे याबद्दल शास्त्रज्ञांचे अेकमत होत नव्हते. क्षकिरण प्रकाश-लहरीसारख्या लहरी असल्यास, प्रकाशाप्रमाणे त्यांच्याही बाबतीत व्यतिकरण आढळायला पाहिजे. पण तोपर्यंत क्षकिरणांच्या बाबतीत व्यतिकरण होत असल्याचे आढळले नव्हते. क्ष किरणांचा शोध लावल्यानंतर क्ष किरणामध्ये व्यतिकरण होते की नाही हे शोधण्याचा रॉन्टजेनने प्रयत्न केला होता. पण परावर्तन, वक्रीभवन किंवा ध्रुवीकरण क्षकिरणांच्या बाबतीत होत असते, असे दाखविणारा काहीही पुरावा त्यास मिळाला नव्हता. त्यामुळे क्ष-किरण प्रकाशलहरीसारख्या लहरी आहेत पण प्रकाशलहरी transverse किंवा आडव्या जात असल्या तर क्ष-किरण लहरी longitudinal किंवा वाम्योत्तर लहरी आहेत असे मत त्याने प्रगट केले.

विसाव्या शतकाच्या सुरवातीस हॉलंडच्या ग्रॅनिन्जेन विद्यापीठातील अेच्. हागा व सी. अेच्. विंड यानी क्ष-किरणविषयक अेक प्रयोग केला. चार सेन्टीमीटर लांबीच्या व पायाशी फक्त पंचवीस सहस्रांश मिलिमिटर रुंदीच्या त्रिकोणाकारी चिरीमधून त्यानी क्ष-किरण पलिकडे पाठवले व ते किरण फोटोग्राफिक प्लेटवर पडतील अशी व्यवस्था केली. त्यावेळी त्रिकोणाच्या शीर्षभागातून जाणारी क्षकिरण शलाका रुंदावत असल्याचे त्यास आढळले होते. क्ष-किरणांचे विवर्तन (diffraction) होत असल्याने असे होते असा निष्कर्ष त्यावेळी काढण्यात आला होता. १९०९ मध्ये हॅम्बर्गमधील बी. वॉल्टर व आर्. पील या संशोधकद्वयाने हागा व विन्ड यांचा प्रयोग पुन्हा करुन व फोटोग्राफिक प्लेटवर रुंदावलेल्या क्ष-किरणांचे मापन करुन, क्ष-किरण तरंगलांबी $१.२x१०^{-९}$ सेन्टीमीटर आहे असे अनुमान काढले. अत्यंत मंदगती कॅथोड किरण व त्यांच्यामुळे निर्माण होणारे क्ष-किरण यांच्या बाबतीत प्लँकची प्रकाशविषयीची अुपपत्ती लावून, १९११ मध्ये प्रो. वीनने व त्यानंतर १९१९ मध्ये प्रो. स्टार्कने क्ष-किरण तरंग लांबी ठरवली.

वॉल्टर व पोल यानी ठरवलेले क्ष–किरण तरंग .लांबीचे मूल्य, वीन व स्टार्क यांनी ठरविलेल्या तरंग लांबीच्या मूल्याशी चांगलेच जुळते. १९१२ मध्ये सॉमर–फेल्डने म्युनिकमधील आपला सहकारी पी. पी. कॉश याच्या सहाय्याने क्ष किर–णांची तरंगलांबी मायक्रोफोटोमेट्रिक पद्धतीने मोजली होती. क्ष किरणांची तरंग–लांबी ४x१०–९ सेन्टीमीटर आहे असा निष्कर्ष सॉमरफेल्डने आपल्या प्रयोगातून काढला होता. त्याच वेळी इंग्लंडमध्ये सी. जी. बार्कला या शास्त्रज्ञाला क्ष किरणांचे थोडेबहुत ध्रुवीकरण होते. असे आढळले होते. तेव्हा या सर्व प्रयोगांचा अेकच निष्कर्ष निघत होता आणि तो हा की क्ष–किरण बहुदा विद्युतचुंबकीय लहरी असाव्यात. फक्त त्यांची तरंगलांबी दृश्य प्रकाशाच्या तरंगलांबीहून खूप कमी आहे. सोडीयम प्रकाशाच्या तरंग लांबीच्या अेक दशसहस्त्रांश भागाइतकी क्ष किर-णांची तरंगलांबी असावी. डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंग वापरून, विद्युतचुंबकीय लहरींची तरंगलांबी काढायची असल्यास, ग्रेटिंगवरील समांतर रेषामधील अंतर, विद्युत–चुंबकीय लहरींच्या तरंगलांबीइतके असायला पाहिजे, असे असल्याने व काचपट्टी–वर १०-९ सेन्टीमीटर अंतरावर समांतर रेषा मारणे शक्य नसल्याने क्ष किरण–लांबी मोजण्यासाठी डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंग तयार करणे शक्य नाही असे आपोआपच ठरत होते.

स्फटिकामधील निरनिराळे अणू परस्परापासून ठराविक अंतरावर असल्याने तयार होणारे जालक, त्रिमिती डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंगचे कार्य करू शकेल ही कल्पना आपणास कशी सुचली हे नोबेल पारितोषिक वितरण समारंभानंतर दिलेल्या व्याख्यानात फॉन लावेने सांगितले आहे. स्फटिक त्रिमिती डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंगसारखा वापरुन, क्ष किरणांची तरंगलांबी मोजण्याचा प्रयोग त्याच्या सूचनेवरुन फ्रीडरिच व निपिंग यानी केला. पण तो प्रयोग होण्याआधीच, स्फटिकातून क्ष किरण गेल्यास स्फटिकातील अणूमुळे होणाऱ्या त्रिमिती डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंगचा क्ष किरणावर काय परिणाम होईल याचे भाकितवजा निदान तात्त्विक भूमिकेतून फॉन लावेने केले होते. फॉन लावेचे निदान बरोबर आहे की नाही हे पडताळून पाहाण्याचे कार्य फ्रीडरिच व निपिग यानी केले. क्रॉस ग्रेटिंगवर प्रकाश पडू दिल्यास, त्या ग्रेटिंगचा प्रकाशावर काय परिणाम होतो याचा अभ्यास त्याने या आधीच केली होता. क्रॉस-ग्रेटिंग अैवजी त्रिमिती ग्रेटिंग वापरल्यास, व त्या ग्रेटिंगमधून विद्युतचुंबकीय लहरी गेल्यास त्या लहरींचे डिफ्रॅक्शन कसे होईल या प्रश्नाचा तात्त्विक दृष्टिकोनातून विचार करुन त्याने असे निदान काढले की स्फटिकाच्या पृष्ठभागाशी काटकोन

करणाऱ्या दिशने क्ष किरण, स्फटिकात शिरुन पलीकडे गेले तर ते किरण फोटो-ग्राफिक प्लेटवर जेथे पडतील तेथे एक काळा ठिपका यायला पाहिजे. त्या मध्यवर्ती काळ्या ठिपक्याखेरीज, त्या ठिपक्याभोवताली ठराविक अंतरावर काळे ठिपके येतील आणि हे सर्व काळे ठिपके मिळून, ठिपक्या ठिपक्यांची एक प्रमाणबद्ध आकृती तयार होईल असे भाकित त्याने केले. फॉन लावेचे हे भाकित खरे असल्याचे फ्रीडरिच व निपिंग यांच्या प्रयोगाने सिद्ध झाले.

आपल्या कार्यासंबंधीची माहिती देणारा, फॉन लावेच्या व्याख्यानातला काही भाग पुढे दिला आहे. क्ष किरणांचा निर्देश त्याने रॉन्टजेन किरण या संज्ञेने केला आहे. सध्या क्ष किरण हीच संज्ञा पुढील उताऱ्यात वापरली आहे.

" प्रकाश व त्यातल्या त्यात प्रकाशाची तरंग-उपपत्ती या विषयाबद्दल मला एक प्रकारचे आकर्षण वाटत आले आहे. तरंग-उपपत्तीच्या अनुषंगाने प्रयोग करण्यात माझा हात बसल्यानंतर, प्रकाशाचे विकरण करु शकतील अशा पदार्थामधून प्रकाश जाऊ दिल्यास तो कोणत्या प्रकारे अशा पदार्थातून पलीकडे जातो या विषयी व व्यतिकरणाचा उष्मगतिकशास्त्राच्या दृष्टिकोनातून अभ्यास या विषयी मी संशोधन केले. यानंतर जर्मन भाषेतील ज्ञानकोशाकरिता 'प्रकाशाची तरंग उपपत्ती, या विषयावर निबंध लिहिण्याचे काम प्रो. सॉमरफेल्ड यानी माझ्याकडे सोपविले ही माझ्यादृष्टीने अेक फलदायी घटना घडून आली. हा निबंध लिहीत असता, ग्रेटिंगचे कार्य कसे चालते याचा मला गणितशास्त्राच्या आधारे अभ्यास करावा लागला. या अभ्यासानंतर क्रॉस ग्रेटिंगचे कार्य कसे चालते याचा मला अभ्यास करावा लागला. त्यावेळीच क्रॉस ग्रेटिंगच्या कार्याविषयी मांडलेल्या कल्पना, त्रिमिती ग्रेटिंगला लावता येतील असे मला वाटत होते. पण त्या कल्पनेचा पाठपुरावा त्यावेळी मी केला नाही.

१९०९ मध्ये म्युनिकला आल्यानंतर, त्या विद्यापीठात प्रो. रॉन्टजेनने केलेले क्ष किरणविषयक संशोधन, प्रो. सॉमरफेल्ड यांचे क्ष किरणांच्या व गॅमा किरणांच्या स्वरूपाविषयीचे कुतूहल यामुळे क्ष किरण विषयक संशोधन सुरू करावे असा विचार माझ्या मनात येऊ लागला. क्ष किरण व गॅमा किरण या विषयासंबंधी कितीतरी संशोधन निबंध प्रो. सॉमरफेल्ड यानी प्रसिद्ध केले होते. दुसऱ्या अेका गोष्टीमुळे माझे लक्ष या विषयाकडे वळले. स्फटिक रचनेविषयीच्या मूलभूत नियमांचे हॉय व ब्राव्हेस या खनिज शास्त्रज्ञानी अगदी साध्या कल्पनांच्या आधारे

चांगले सुसंगत स्पष्टीकरण दिले होते. अणुंच्या त्रिमिती रचनेमुळे स्फटिक जालक तयार होते ही कल्पना मान्य केल्यास, स्फटिक रचनेच्या मूलभूत नियमांचे स्पष्टी-करण हॉय व ब्राव्हेस यांच्या संशोधन निबंधात आहे असे मान्य करावे लागते. सोहन्के, फेडेरोव व शोनफ्लीज या शास्त्रज्ञानी त्रिमिती जालकाचा गणितशास्त्राच्या दृष्टीकोनातून अभ्यास करून, त्या विषयीच्या विचारात अेक प्रकारची गणिती सुसूत्रता आणली होती. पण गणित शास्त्रज्ञांच्या कल्पनानी भौतिकीशास्त्रात प्रवेश केला नव्हता. त्यामुळे त्रिमिती जालकाच्या गणिती अभ्यासातून निघालेल्या कल्पना अस्वीकृत उपपत्तीच्या स्वरुपातच राहिलेल्या होत्या. म्युनिक विद्यापीठात मी आलो त्यावेळी सोहन्के यांच्या कल्पनेप्रमाणे तयार केलेल्या स्फटिक जालकांच्या प्रतिकृती मला त्या विद्यापीठाच्या निरनिराळ्या संस्थात पाहायला मिळाल्या. फॉन पॉल ग्रॉथ या खनिज शास्त्रज्ञाने तर व्याख्यानातून व लेखाद्वारे स्फटिकांच्या त्रिमितीजालकाच्या कल्पनेचा सतत पाठपुरावा सुरु केला होता. त्यामुळे मलाही त्या कल्पनांची चांगलीच ओळख झाली. अणू प्रत्यक्षात असतात की नाहीत याबद्दल मन साशंक होते तरी त्यावेळपर्यंतच्या अनुभवावरुन स्फटिकामधील अणूच्या रचने-मुळे त्रिमिती जालक तयार होते ही कल्पना मला पटत होती. फक्त तात्त्विकदृष्टया या कल्पनेचा पाठपुरावा कसा करावा याची मला नीटशी कल्पना नव्हती.

तेव्हा थोडक्यात, १९१२ सालच्या फेब्रुवारी महिन्यात मी आता वर्णन केल्यासारखी माझी मनस्थिती होती. त्यावेळी पी. पी. अेवाल्ड एक दिवस संध्या-काळी मला भेटायला आला. त्रिमिती जालकातून जास्त तरंगलांबीच्या विद्युत चुंबकीय लहरी जाऊ दिल्यास, त्यात काय फरक होईल याचा गणितशास्त्राच्या आधारे अभ्यास करण्याचे काम प्रो. सॉमर फेल्ड यानी त्याच्याकडे सोपविले होते. अंगीकृत संशोधनात मी त्याला काही मदत करणे शक्य आहे का हे पाहायला तो आला होता. त्याला मी कोणत्याही तऱ्हेची मदत करु शकलो नाही – हे आता मला कबूल केलेच पाहिजे. त्यावेळी त्याच्या संशोधनाबद्दल आम्हा दोघात जी चर्चा झाली तीमुळे अेक वेगळा विचार माझ्या मनात आला. त्रिमिती जालकातील निरनिराळ्या पातळ्यातील अंतरापेक्षा कमी तरंगलांबी असलेल्या विद्युतचुंबकीय लहरी, स्फटिक जालकातून जाऊ दिल्यास काय होते याचा अभ्यास केला पाहिजे असे माझ्या मनाने घेतले. यावेळी प्रकाशाच्या अभ्यासाने तयार झालेली माझी मनोदेवता सांगू लागली की कमी तरंगलांबीच्या विद्युतचुंबकीय लहरी स्फटिकातून जाऊ दिल्यास वक्रीभवनपट किंवा डिफ्रॅक्शन स्पेक्ट्रम मिळायला पाहिजे. स्फटि-कांच्या अणूतील अंतर 10^{-9} सेन्टीमीटरच्या आसपास असले पाहिजे ही गोष्ट

इतर घन व द्रव पदार्थांच्या अभ्यासातून माहीत झाली होती. शिवाय स्फटिकाची घनता, त्याचा रेणुभार आणि हायड्रोजन अणूचा भार यावरुन स्फटिकाच्या अणू-तील अंतर काय असेल हे गणिताने काढता येत होते. वीन व सॉमरफेल्ड यांच्या प्रयोगाप्रमाणे क्षकिरण लहरींची तरंगलांबी 10^{-9} सेन्टीमीटरच्या आसपास आहे हेही समजून आले होते. तेव्हा स्फटिकातून क्षकिरण जाऊ दिल्यास, क्षकिरण लह-रींची तरंगलांबी आणि स्फटिकाच्या अणूमधील अंतर यांचे परस्परप्रमाण जवळ जवळ समान असल्याने, स्फटिकातून क्षकिरण पलीकडे धाडण्याचा प्रयोग करुन पहावा असे मला वाटले, व तसा प्रयोग केल्यास क्षकिरणांचे व्यतिकरण होईल असे मत मी अेवाल्डजवळ प्रगट केले.

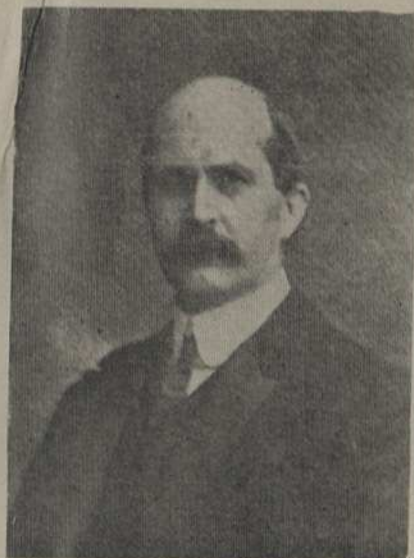
माझे हे मत डब्ल्यु. फ्रीडरिचच्या कानी गेले. स्फटिकातून क्षकिरण पलीकडे धाडण्याचा प्रयोग करायला तो लगेच तयार झाला. पण असा प्रयोग केल्यास, क्षकिरणांचे व्यतिकरण होईल ही कल्पना, विद्वान शास्त्रज्ञांना पटेना. त्यामुळे योजलेला क्षकिरण विषयीचा प्रयोग करायला चटकन परवानगी मिळेना. तेव्हा त्या शास्त्रज्ञाना समजुतीच्या चार गोष्टी सांगून फ्रीडरिच व निपिंग यानी तो प्रयोग करण्याची परवानगी मिळविली. परवानगी मिळाल्यावर, कॉपर सल्फेटच्य. स्फटिकातून क्षकिरण पलीकडे धाडून, त्यांचं व्यतिकरण होते का हे पाहाण्याचा प्रयोग आम्ही केला. प्रयोगासाठी कॉपर सल्फेटचा स्फटिक वापरण्याचे कारण त्या क्षाराचे स्फटिक चांगले मोठे व सर्व बाजूनी चांगली वाढ झालेले मिळतात कॉपर सल्फेटच्या स्फटिकातून क्ष किरण धाडताना, ते किरण त्या स्फटिकाच्या अक्षाशी समांतर किंवा काही विशिष्ट कोन करणाऱ्या दिशेने धाडले नव्हते क्षकिरणांच्या मार्गात कॉपर सल्फेटचा स्फटिक ठेवला इतकेच. स्फटिकातून क्षकिरण गल्यानंतर ते फोटोग्राफीक प्लेटवर पडतील अशी व्यवस्था केली होती. प्रयोग केल्यानंतर, त्या फोटोग्राफिक प्लेटवर, कॅथोडपासून सरळ रेषेत येणाऱ्या क्षकिरणांचा ठसा मिळाला व त्याच्याभोवती अपेक्षेप्रमाणे वक्रीभवन झालेल्या क्षकिरणांचे ठसे म्हणजे काळे ठिपके मिळाले.

निरनिराळ्या स्फटिकातून क्षकिरण धाडून, ते किरण फोटोग्राफिक प्लेटवर पडतील अशी व्यवस्था करुन, फ्रीडरिच व निपिंग यानी क्षकिरणांचा अभ्यास चालू ठेवला. फक्त कॉपर सल्फेटच्या तिरकस स्फटिकाअैवजी इतर पदार्थांचे अत्यंत प्रमाणबद्ध स्फटिक त्यानी प्रयोगासाठी वापरले. या स्फटिकातून त्यांच्या स्फटिकी

अक्षाच्या दिशेने क्ष किरण धाडून व ते किरण फोटोग्राफीक प्लेटवर पडू देऊन, तेथे कोणत्या प्रकारच्या कृष्णबिंदूच्या आकृती मिळतात याचा त्यानी अभ्यास केला. स्फटिकातून क्षकिरण धाडल्यावर, त्यांचे काय व्हावे किंवा त्याच्यावर काय परिणाम व्हावा याचा तात्त्विक दृष्टिकोनातून या आधीच अभ्यास झाला होता. सर्वसाधारण ग्रेटिंग आणि क्रॉस ग्रेटिंग यावर प्रकाश पडू दिल्यास काय होते त्याच्या अभ्यासावरुन, स्फटिकासारखी त्रिमिती ग्रेटिंग वापरुन व तीमधून क्षकिरण जाऊ दिल्यास काय होईल या विषयीचे कयास बांधण्यात आले होते. ते कयास बरोबर आहेत की नाहीत हे तपासण्याचे काम फ्रीडरिच व निपिंग यांनी केले. ते झाल्यानंतर ८ जून १९१२ रोजी प्रो. सॉमरफेल्डनी, मी, फ्रीडरिच व निपिंग यांच्या क्षकिरणांच्या व्यतिकरणाविषयी केलेल्या संशोधनाचा वृत्तांत म्युनिक अॅकेडमीस कळवला. या वृत्तांताबरोबर फोटोग्राफिक प्लेटवर आम्हाला मिळालेले क्षकिरणांचे वैशिष्ठ्यदर्शक ठसेही होते. हे ठसे म्हणजे कृष्णबिंदूंच्या प्रमाणबद्ध आकृत्या होत्या. "

संशोधनाचे परिणाम

फॉन लावेच्या मार्गदर्शनाखाली केलेला प्रयोग यशस्वी झाल्याने क्षकिरण प्रकाशलहरीसारख्या पण अतिशय कमी तरंगलांबीच्या लहरी आहेत हे सिद्ध झाले. त्याबरोबर स्फटिकामध्ये अणूंचे जालक असते हेही सिद्ध झाले. स्फटिकातून क्षकिरण जाऊ दिल्यास, त्यांचे वक्रीभवन होते हे समजून आल्याने, क्षकिरणांची तरंगलांबी मोजण्याचा मार्ग उपलब्ध झाला. याच विषयात ब्रॅग पितापुत्रानी जास्त संशोधन करुन, स्फटिकातील अणूंची रचना व अणूतील अंतर मोजण्याची पद्धत शोधून काढली. क्षकिरणांची तरंगलांबी अचूक मोजता आल्याने, निरनिराळ्या मूलतत्त्वावर कॅथोड किरण सोडून, त्यापासून निघणाऱ्या क्षकिरणांच्या तरंगलांबी-वरुन मूलतत्त्वांचे अणुक्रमांक ठरविण्याची पद्धत ओस्टवाल्ड मोस्लेने शोधून काढली. क्षकिरणपटांचा अभ्यास या क्षेत्रात कित्येक शास्त्रज्ञानी संशोधन केले असून, त्यात बऱ्याच नोबेल पारितोषिक विजेत्यांचा समावेश आहे.



विल्यम हेन्री ब्रॅग



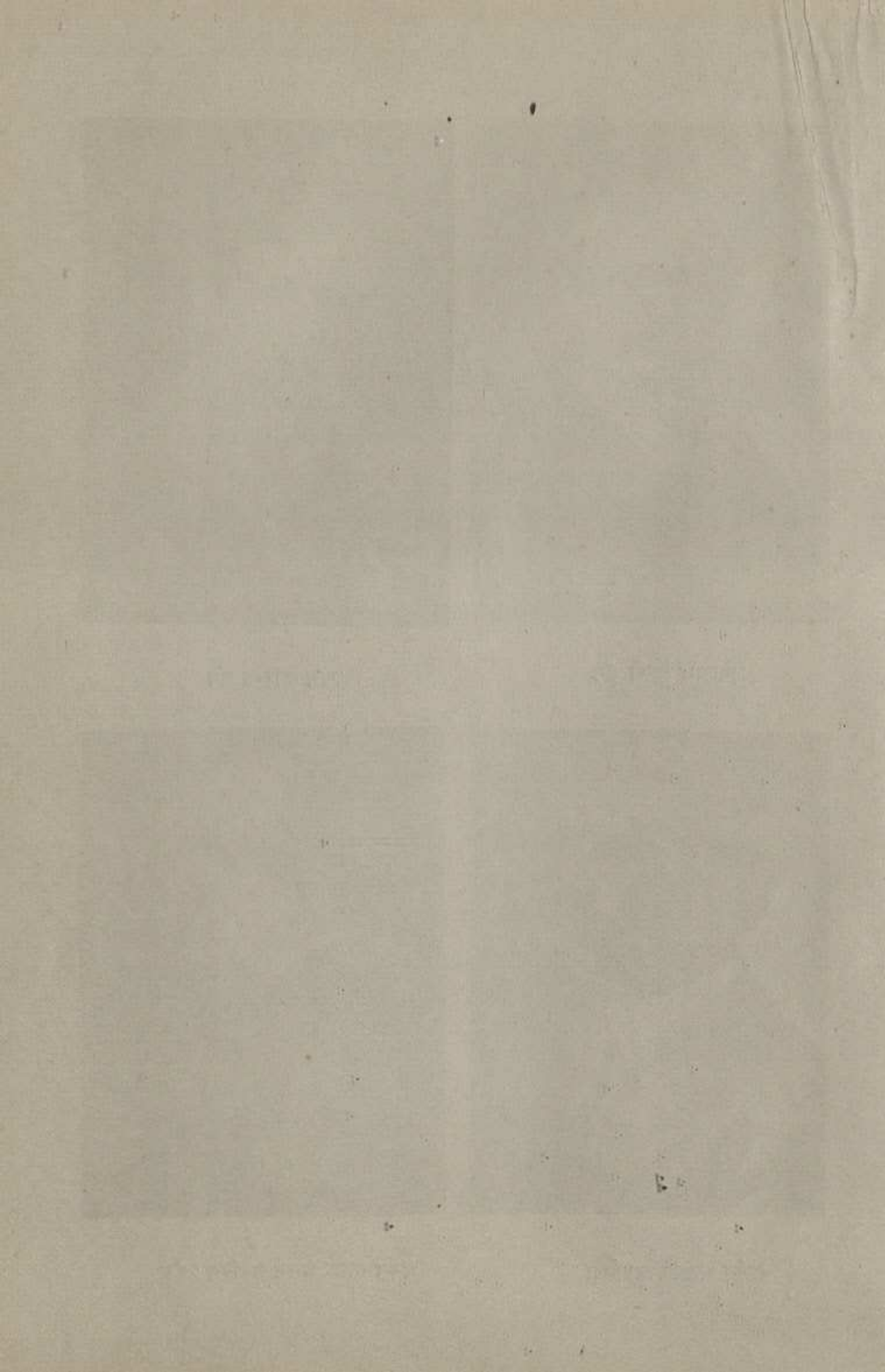
विल्यम लॉरेन्स ब्रॅग



चार्लस ग्लव्हर बार्कला



मॅक्स कार्ल अर्न्स्ट लडविग प्लँक



१९१५

विल्यम हेन्री ब्रॅग

(१८६२–१९४२)

विल्यम लॉरेन्स ब्रॅग

(१८९० –   )

" क्ष किरणांच्या सहाय्याने स्फटिकरचनेचा अभ्यास करण्याबद्दल पारितोषिक "

चरित्र

विल्यम हेन्री ब्रॅग

इंग्लंडच्या कंबरलंड परगण्यातील वेस्टवर्ड गावी, २ जुलै १८६२ रोजी विल्यम हेन्री ब्रॅगचा जन्म झाला. वयाच्या फक्त सातव्या वर्षी तो मातृसुखास मुकला. त्यानंतर लिसेस्टरशायर परगण्यातील मार्केट हारबरो येथील शाळेत त्याचे शालेय शिक्षण झाले. त्याचे विश्वविद्यालयीन शिक्षण आइल ऑफ मॅन मधील किंग विल्यम्स कॉलिजमध्ये झाले. विश्वविद्यालयीन शिक्षणात गणित विषयाबद्दल विशेष गोडी उत्पन्न झाल्याने, त्याने १८८१ मध्ये केम्ब्रिजच्या ट्रिनिटी कॉलिजमध्ये आपले नाव नोंदवले. तेथे गणितशास्त्राचे प्राध्यापक डॉ. इ. जे. राउथ यांच्या मार्गदर्शनाखाली गणितशास्त्राचा अभ्यास करून, तो १८८४ मध्ये मॅथेमॅटिकल ट्रायपॉस–

प्रथम विभाग ही परीक्षा तिसऱ्या क्रमांकावर उत्तीर्ण झाला. तिसरा रँग्लर झाल्यानंतर त्याने भौतिकशास्त्रात रस घ्यायला सुरवात केली व त्याचवर्षी कॅव्हेन्डिश प्राध्यापक म्हणून नेमलेल्या प्रा. जे. जे. थॉमसन यांच्या अध्यापनाचा लाभ घेतला.

१८८५ मध्ये आस्ट्रेलियाच्या अॅडीलेड विद्यापीठात गणितशास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्याची वेळ आली, तेव्हा केवळ तेवीस वर्षांचा असून सुद्धा विल्यम ब्रॅगला त्या जागेवर नेमण्यात आले. यानंतरची तेवीस वर्षे त्याने ऑस्ट्रेलियात गणितशास्त्राचे अध्यापन केले. १९०८ मध्ये लीड्स विद्यापीठाने भौतिकशास्त्राच्या कॅव्हेन्डिश प्राध्यापकपदावर त्याची नेमणूक करण्याची तयारी दाखविली. इंग्लंडला परत येण्याच्या संधीचा लाभ उठवून, तो १९०९ मध्ये लिडस विद्यापीठात भौतिकशास्त्राचा प्राध्यापक झाला. १९१५ पर्यन्त त्याने लीड्स विद्यापीठात अध्यापन कार्य केले. १९१५ मध्ये लंडनच्या युनिव्हर्सिटी कॉलेजने त्यास भौतिकीशास्त्राच्या क्वेन प्राध्यापकपदावर नेमले व तेव्हापासून त्याचे वास्तव्य लंडनमध्येच होते.

पहिल्या महायुद्धामध्ये, इंग्लंडचे युद्धप्रयत्न जोरदार व्हावेत यासाठी मुद्दाम निर्मिलेल्या बोर्ड ऑफ इन्व्हेन्शन्स व रिसर्च (नवकल्पना व संशोधन यांचे परीक्षण करणारी समिती) या समितीवर नेमण्यात आले. त्या समितीचा सदस्य या नात्याने त्याने नाविक दलासाठी संशोधन करुन, पाण्याखालील पाणबुड्या शोधून काढण्यासाठी हायड्रोफोन या यंत्राची निर्मिती व त्यात सुधारणा करण्यासाठी संशोधन केले महायुद्धकालीन युद्ध प्रयत्नात गुंतल्यामुळे, नेमणूक होऊनही त्याला लंडनच्या युनिव्हर्सिटी कॉलिजमध्ये अध्यापनकार्य सुरू करता आले नाही. १९१९ मध्ये महायुद्ध संपल्यानंतर त्याने युनिव्हर्सिटी कॉलिजमध्ये अध्यापन कार्यास सुरवात केली. १९२३ मध्ये लंडनमधील रॉयल इन्स्टिटयूशनचे संचालक सर जेम्स देवर यांच्या मृत्यूनंतर ब्रॅगला त्या इन्स्टिटयूशनच्या संचालकपदावर नेमण्यात आले. त्यांच्या मार्गदर्शनाखाली रॉयल इन्स्टिटयूशनमधील डेव्ही-फॅराडे प्रयोगशाळा संशोधनाचे अेक पहिल्या प्रतीचे केन्द्र म्हणून प्रसिद्ध झाली. या प्रयोगशाळेत मुख्यत्वेकरुन स्फटिकरचना क्षकिरणांच्या सहाय्याने समजून घेण्याविषयी ब्रॅगने व त्याच्या सहकाऱ्यानी संशोधन केले. अल्पकालीन आजाराने तो १० मार्च १९४२ रोजी मृत्यु पावला.

लंडनच्या रॉयल सोसायटीने त्यास १९०७ मध्ये ' फेलो ' निवडले. १९१६ मध्ये त्यास रमफोर्ड पारितोषिक व १९३० मध्ये कोपले पारितोषिक देऊन व १९३५ मध्ये आपला अध्यक्ष निवडून त्याचा बहुमान केला. ब्रिटनमधील व पर-

देशातील सोळा विद्यापीठानी त्यास आपल्या अत्युच्च पदव्या अर्पण करुन त्याचा बहुमान केला आहे. १९२० मध्ये त्यास ' सर ' या उपाधीचा लाभ झाला.

ख्रिसमसच्या सुमारास दरवर्षी सर विल्यम ब्रॅगने शालेय विद्यार्थी वर्गा–करिता व्याख्यानमाला गुंफल्या व त्याना विद्यार्थीवर्गाकडून उत्तम प्रकारचा प्रतिसाद मिळाला. ' आवाजाचे विश्व,' ' प्रकाशाचे विश्व, ' ' जुने व्यवसाय व नवीन ज्ञान, ' ' पदार्थांच्या रचनेविषयी ' व्याख्यानमालातून दिलेली व्याख्याने अेकत्र करून पुस्तकरुपाने प्रसिद्ध झाली आहेत. ख्रिसमसच्या निमित्ताने दिलेल्या व्याख्यानावर आधारलेल्या पुस्तकात ' आवाजाचे विश्व ", ' प्रकाशाचे विश्व ' ' जुने व्यवसाय व नवीन ज्ञान ' आणि ' पदार्थांच्या रचनेविषयी ' ही पुस्तके विशेष प्रसिद्ध आहेत. विषयाचे सुंदर, सोपे व सहज समजण्यासारखे विवरण व ओघवती भाषा ही त्या पुस्तकांची वैशिष्ठ्ये आहेत.

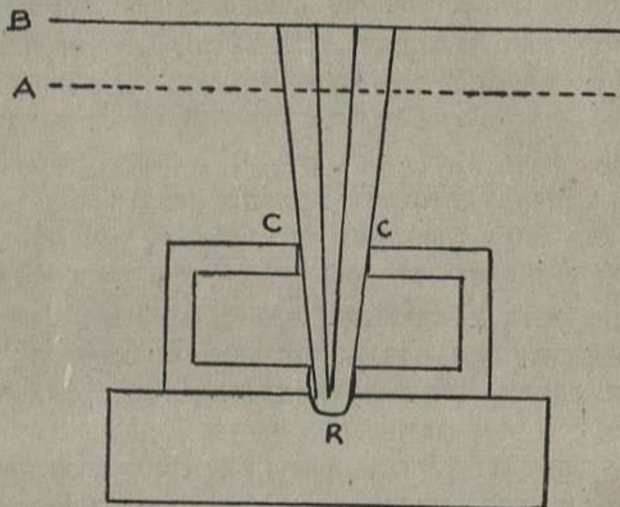
अॅडिलेडला गल्यानंतर पहिली काही वर्षे ब्रॅगचा बहुतेक वेळ अध्यापनकार्य व विद्यापीठाचा कारभार यात खर्च झाला. त्यामुळे संशोधन करावे अशी इच्छा असूनही, त्याला संशोधनाकडे लक्ष देता आले नाही. त्यानंतर १९०३ मध्ये ऑस्ट्रेलियातील 'असोसिअेशन फॉर दि अॅडव्हान्स–मेन्ट ऑफ सायन्स ' (विज्ञान प्रगतीसाठी प्रयत्न करणारी संस्था) या संस्थेने त्यास गणिती व भौतिकीशास्त्र विभागाचा १९०४ सालचा अध्यक्ष निवडले. त्यामुळे आपले अध्यक्षीय भाषण तयार करण्याच्या कामास त्याने सुरवात केली. भौतिकीशास्त्रातील नवनवीन शोधांचा व त्यातल्या त्यात पदार्थातून कॅथोड किर–णांचा प्रवास या विषयीचे लेनार्डचे संशोधन, ऋणकणाविषयीचे जे. जे. थॉमसनचे संशोधन आणि बेक्वेरेल, क्युरी दांपत्य व रदर फोर्ड यांचे किरणोत्सर्ग विषयीचे संशोधन यांचा आढावा आपल्या भाषणात घ्यावा असे त्याने ठरवले. ते अध्यक्षीय भाषण तयार करता करता, त्याला किरणोत्सर्गाविषयी इतके औत्सुक्य वाटू लागले की शक्य झाल्याबरोबर त्याने काही रेडीयम क्षार मागवून घेतले व किरणोत्सर्गा-विषयी १९०४ ते १९०८ या चार वर्षात बरेचसे प्रयोग केले. या प्रयोगामुळे त्याचे नाव शास्त्रीय जगतात चांगलेच प्रसिद्धीला आले.

किरणोत्सर्गी पदार्थातून बाहेर पडणारे अल्फा, बीटा व गॅमा किरण वस्तु–मात्रातून गेल्यास काय परिणाम घडून येतो हे शोधून काढण्यासाठी त्याने हे संशोधन केले होते. त्यापैकी त्याने अल्फा किरणांच्या परिणामाविषयी केलेले संशोधन विशेष महत्त्वाचे होते. धातूंच्या पातळ पत्र्यातून किंवा किती तरी सेन्टी–

मीटर जाडीच्या हवेच्या थरातून कॅथोड किरण जाऊ शकतात असे लेनार्डने दाखवले होते. हवेतून कॅथोड किरण जाताना त्यांचे विकरण होते, हे किरणोत्सर्गी पदार्था–पासून वेगवेगळया अंतरावर फ्ल्युओरेसंट किंवा स्फुरदीप्तीमान पडदा किंवा फोटोग्राफिक प्लेट ठेवून व त्यावर उठलेल्या बिंबाचा परिणाम अभ्यासून त्याने दाखवले होते. किरणोत्सर्गी पदार्थापासून जसे दूर जावे तसे स्फुरदीप्तीमान पडद्या-वरील किंवा फोटोग्राफिक प्लेटवरील, किरणानी उठवलेल्या बिंबाच्या कडा अंधुक व पुसट होत जातात. परमाणूच्या रचनेविषयी जे. जे. थॉमसनने मांडलेल्या कल्पनेप्रमाणे, कॅथोड किरणातील इलेक्ट्रॉनची किंवा ऋणकणाची, हवेतील परमाणू-मधील ऋणकणाबरोबर टक्कर झाल्याने, कॅथोड किरणांचे विकरण होते. अल्फा–कणांचा भार, इलेक्ट्रॉनच्या किंवा ऋणकणांच्या भाराच्या जवळ जवळ सात हजार पट असल्याने, अल्फा कणांची हवेतल्या परमाणुबरोबर टक्कर झाली तरी, त्यामुळे अल्फा कणांच्या मार्गात काहीही फरक होणार नाही व त्याचे विकरणही होणार नाही. प्रकाशाच्या वेगाइतका सुरवातीला वेग असलेल्या बीटा किरणांचा वेग, ते किरण पदार्थातून जाताना कमी कमी होत जातो व शेवटी शून्य होतो. अशावेळी पदार्थ बीटा किरणांचे शोषण करतो असे म्हणतात. त्याचप्रमाणे पदार्थातून अल्फा किरण गेल्यास, त्यांचेही शोषण होते. पण अल्फा किरण पदार्थात शोषले जाण्याचे कारण वेगळे आहे. पदार्थातून अल्फा किरण जात असता, ते मार्गात आलेल्या परमाणुमधील ऋणकण ओढून घेतात. त्यामुळे त्यांची ऊर्जा कमी कमी होत जाते व सरतेशेवटी त्यांचे शोषण होते, अशी ब्रॅगची कल्पना होती. या कल्पनेचा पाठ–पुरावा करून, ब्रॅगने असा निष्कर्ष काढला की अल्फा किरण पदार्थातून जाण्याला काही ठराविक मर्यादा असली पाहिजे. अल्फा किरणामुळे त्यांच्या मार्गातल्या परमाणूचे अयनीकरण होण्याची क्रिया, अल्फा किरण ज्या किरणोत्सर्गी पदार्थातून निघतात, त्या पदार्थापासून काही ठराविक अंतरावर पोचल्यावर अेकदम संपुष्टात यायला पाहिजे. अल्फा किरण किती अंतरापर्यन्त जाऊन पोचतील ते अल्फा किर–णांच्या सुरवातीच्या वेगावर आणि ते किरण ज्या पदार्थातून जातात, त्या पदार्थाच्या गुणधर्मावर अवलंबून राहाणार. या सर्व कल्पना ब्रॅगने १९०४ साली दिलेल्या अध्यक्षीय भाषणात मांडल्या.

या अध्यक्षीय भाषणानंतर काही महिन्यानी थोडेसे रेडीयम ब्रोमाइड त्याच्या हाती आले. रेडीयम ब्रोमाइड हाती आल्यानंतर, अल्फा कणांच्या प्रवास मर्यादेच्या कल्पना, प्रत्यक्ष प्रयोगाने तपासून पाहाण्याचे त्याने ठरविले व कामास सुरवात केली. यासाठी त्याने मॅडम क्युरीने उपयोगात आणलेल्या आयोनायझेशन चेंबर–

मध्ये थोडा फरक केला. ब्रॅगने वापरलेली पद्धत सोबतच्या आकृतीच्या सहाय्याने समजावून घेता येईल.



आकृती - 11
अल्फा कणांच्या पल्ल्याचे डब्ल्यु. अेच्. ब्रॅगने केलेले निर्धारण.

अल्फा किरणांची प्रवास मर्यादा ठरविण्याचा ब्रॅगचा प्रयोग

R या ठिकाणी पसरुन ठेवलेल्या रेडीयम ब्रोमाइडच्या पातळ थरातून निघालेले अल्फा किरण C व C या ठिकाणी ठेवलेल्या शिशाच्या जाड पत्र्यामुळे सर्व दिशाना जात नाहीत व त्या किरणांची अेक बारीकशी शलाकाच पुढे जाते. ही शलाका A B या उथळ आयोनायझेशन चेंबरमध्ये जाते. त्यातील A अेक धातूचा पत्रा असून, तो इलेक्ट्रोस्कोपला किंवा इलेक्ट्रोमीटरला जोडलेला असतो. B हा धातूचा जाळीदार पत्रा आहे. जर A या धातूच्या पत्र्याला व इलेक्ट्रोस्कोपला धनविद्युतभार दिला असल्यास, अल्फा किरणांची शलाका आयोनायझेशन चेंबरमध्ये आल्याबरोबर, ते किरण ऋण आयन पत्र्याकडे आकर्षले जातात. त्यामुळे A वरचा धनविद्युतभार नष्ट होऊ लागतो आणि इलेक्ट्रोस्कोपची सुवर्णपत्रे खाली पडतात. इलेक्ट्रोस्कोपची सुवर्णपत्रे ज्या वेगाने खाली येतात, त्या

वेगावरुन आयोनायझेशन प्रवाहाची तीव्रता मोजता येते. किरणोत्सर्गी पदार्थ सात सेन्टीमीटर अंतरावर असल्यास, अल्फा किरण आयोनायझेशन चेंबरमध्ये येऊ शकतात व किरणोत्सर्गी पदार्थ आणि आयोनायझेशन चेंबर यामधील अंतर सात सेन्टीमीटरहून कमी करीत गेल्यास आयोनायझेशन प्रवाहाची तीव्रता वाढत जाते असे ब्रॅगला आढळले. ही तीव्रता दोहोमधील अंतर साडेतीन सेन्टीमीटर होईपर्यन्त व्यवस्थित वाढत जाते. पण तेच अंतर साडेतीन सेन्टीमीटर झाल्यास, आयोनायझेशन प्रवाहाची तीव्रता अेकदम वाढते. त्याचा अर्थ किरणोत्सर्गी पदार्थातून अेकाहून अधिक प्रवासमर्यादा असणारे अल्फा किरण बाहेर पडत होते. त्याचा अर्थ रेडीयम-मध्ये रेडीयमखेरीज आणखी काही दुसरे किरणोत्सर्गी पदार्थ असावेत ही रदरफोर्डची कल्पना खरी ठरत होती. रदरफोर्डच्या म्हणण्याप्रमाणे रेडीयमच्या नमुन्यात, रेडीयम, रेडीयमचा उत्सर्ग (वायुरुपी), रेडीयम A व रेडीयम, C इतकी मूलतत्त्वे असून, त्या सर्वातून अल्फा किरण बाहेर पडत असतात. या मूलतत्त्वा–खेरीज रेडीयममध्ये रेडीयम बी हेही मूलतत्त्व असते. पण त्यातून फक्त बीटा–किरण बाहेर पडत असल्याने त्याच्या अस्तित्वाची माहिती ब्रॅगच्या प्रयोगात मिळाली नाही. यानंतर जास्त अचूक प्रयोग करुन रेडीयम सी, रेडीयम अे, रेडीयम उत्सर्ग व खुद्द रेडीयम या मूलतत्त्वातून बाहेर पडणाऱ्या अल्फा किरणांची प्रवास–मर्यादा अनुक्रमे ७ से. मी., ४.८ से. मी., ४.२ से मी. व ३.५ से. मी. आहे असे ठरविण्यात आले. रेडीयममधून बाहेर पडणाऱ्या किरणांच्या मार्गात निरनिराळ्या जाडीचे पत्रे टाकून, अल्फा किरण अडविण्यासाठी लागणाऱ्या धातूच्या पत्र्याच्या जाडीचा ब्रॅगने अभ्यास केला. तेव्हा सारख्या जाडीच्या पत्र्याची अल्फा किरण अडविण्याची शक्ति, पत्रा ज्या धातूपासून केला गेला असेल, त्या धातूच्या परमाणू-भारावर अवलंबून आहे असे ब्रॅगला आढळले. या संशोधनाबरोबर किरणोत्सर्गी मूलतत्वातून बाहेर पडणाऱ्या बीटा व गॅमा किरणाविषयी केलेले संशोधन ब्रॅगने तत्कालीन इंग्रजी शास्त्रीय नियतकालिकातून प्रसिद्ध केले आहे. ते सर्व संशोधन ' किरणोत्सर्गाचा अभ्यास ' या नावाखाली १९१२ साली ब्रॅगने प्रसिद्ध केलेल्या पुस्तकात आले आहे.

ब्रॅग लीड्स विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा कॅव्हेन्डिश प्राध्यापक असताना फॉन लावेने आपला स्फटिकाकडून क्ष किरणांचे विकरण या विषयीचा शोध प्रसिद्ध केला. फॉन लावेचा क्ष किरण विषयक शोध प्रसिद्ध झाल्यानंतर, क्ष किर–णांच्या सहाय्याने स्फटिकरचना समजावून घेण्याच्या प्रश्नाकडे ब्रॅगचे लक्ष गेले.

पण या विषयावर जास्त प्रकाश पाडण्यासाठी पहिले पाऊल त्याच्या मुलाने उचलले. विल्यम लॉरेन्स ब्रॅग हा त्याचा मुलगा त्यावेळी केम्ब्रिज विद्यापीठात संशोधन करीत होता. त्याने विद्यार्थी दशेतच क्ष किरणांच्या अभ्यासास सुरवात करुन, स्फटिकरचनेच्या अभ्यासाची एक नवीन पद्धत शोधून काढली. त्याने दिलेल्या नोबेल व्याख्यानात त्या पद्धतीची माहिती आली असल्याने, तिचा उल्लेखच फक्त या ठिकाणी केला आहे.

चरित्र

विल्यम लॉरेन्स ब्रॅग

३१ मार्च १८९० रोजी, अॅडीलेड येथे विल्यम लॉरेन्स ब्रॅगचा जन्म झाला. अॅडीलेडमधील सेन्ट पीटर्स कॉलिजमध्ये काही काळ आणि त्यानंतर अॅडीलेड विद्यापीठात त्याचे विश्वविद्यालयीन शिक्षण झाले. १९०८ मध्ये गणित हा मुख्य विषय घेऊन तो अॅडीलेड विद्यापीठाचा पदवीधर झाला. १९०९ मध्ये वडीलाबरोबर तो इंग्लंडला गेला व केम्ब्रिजच्या ट्रिनिटी कॉलिजमध्ये त्याने नाव घातले. येथे त्याने भौतिकीशास्त्राचा अभ्यास केला व १९१२ मध्ये तो ट्रायपॉसची परीक्षा पहिल्या वर्गात उत्तीर्ण झाला.

ट्रायपॉसच्या परीक्षेनंतर त्याने फॉन लावेच्या क्षकिरणविषयक शोधाविषयी संशोधन केले. १९१२ च्या नोव्हेम्बर महिन्यात केम्ब्रिज फिलॉसॉफिकल सोसायटीच्या नियतकालिकात क्षकिरणविषयीचा त्याचा पहिला संशोधन निबंध प्रसिद्ध झाला. त्यानंतर त्याने केम्ब्रिजमध्ये व त्याच्या वडीलानी लीड्समध्ये क्षकिरणांच्या सहाय्याने स्फटिकरचनेचा शोध या विषयावर संशोधन केले. पिता-पुत्रानी केलेल्या संशोधनाचे निष्कर्ष त्याने पुस्तकरुपाने १९१५ मध्ये प्रसिद्ध केले. ' क्षकिरण व स्फटिकरचना ' हे त्या दोघानी लिहून प्रसिद्ध केलेल्या पुस्तकाचे नाव आहे. १९१४ मध्ये केम्ब्रिजच्या ट्रिनिटी कॉलेजमध्ये त्यास फेलोशीप मिळाली व त्याची अध्यापक म्हणून नेमणूक झाली. १९१९ मध्ये त्यास मँचेस्टर विद्यापीठात भौतिकीशास्त्राचा लँगवर्दी प्राध्यापक नेमण्यात आले. मँचेस्टर विद्यापीठात त्याने १९३७ पर्यंत काम केले. १९३७ ते १९३८ या अेक वर्षाच्या काळात तो नॅशनल फिझिकल

लॅबोरेटरीचा संचालक होता. १९३८ मध्ये त्याला केम्ब्रिज विद्यापीठात भौतिकी–शास्त्राचा प्राध्यापक नेमण्यात आले.

पहिल्या महायुद्धात त्याचे वास्तव्य फ्रान्समध्ये होते. लष्कराचा शास्त्रीय सल्लागार या नात्याने त्याने इंग्लंडच्या युद्धप्रयत्नास खूप मदत केली. १९१८ मध्ये त्यास मिलीटरी क्रॉस व ओ. बी. इ. ही पदवी देऊन ब्रिटिश सरकारने त्याच्या युद्धप्रयत्नांची पावती दिली.

१९४१ मध्ये त्यास सर या पदवीचा लाभ झाला. बऱ्याचशा ब्रिटिश व इतर परदेशी विद्वत् संस्थानी त्यास आपला सभासद करून घेतले व बऱ्याचशा विद्या–पीठानी त्यास आपली अत्युच्च पदवी देऊन गौरविले आहे.

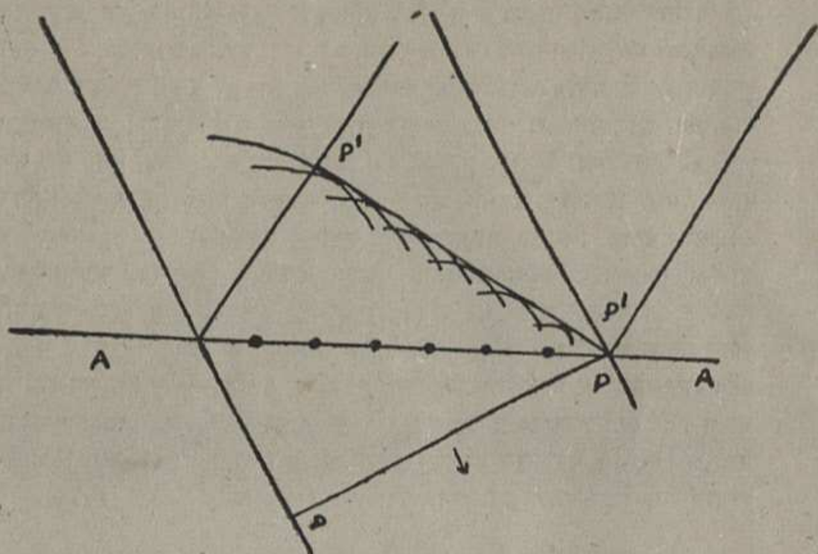
लंडनच्या रॉयल सोसायटीने १९२१ मध्ये त्यास आपला फेलो करुन घेतले त्याच संस्थेने त्यास १९३१ मध्ये ह्युजेस पदक व १९४६ मध्ये रॉयल पदक देऊन गौरवले आहे.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले कार्य

फॉन लावेने स्फटिकावर क्ष किरण सोडले व ते किरण स्फटिकात प्रवेश करुन, दुसऱ्या बाजूने बाहेर पडल्यावर ते फोटोग्राफिक प्लेटवर पडतील अशी व्यवस्था केली. स्फटिकातील अेकमेकांच्या अगदी जवळ जवळ असलेल्या पर–माणूंच्या त्रिमिती रचनेमुळे स्फटिकाचा उपयोग डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंगसारखा झाला व फोटोग्राफिक प्लेटवर अगदी प्रमाणबद्ध ठिपके दिसून आले. स्फटिकाचे फोटो–ग्राफिक प्लेटपासूनचे अंतर लक्षात घेऊन तीवर उठलेल्या प्रमाणबद्ध ठिपक्यावरुन स्फटिकाची अंतर्गत रचना शोधून काढण्यासाठी लावेने मांडलेले गणित अचूक असले तरी फार किचकट आहे. स्फटिकरचनेचा विचार करताना, तो अेक डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंग आहे असा विचार न करता, स्फटिकातील निरनिराळ्या पर–माणूमुळे तयार होणाऱ्या पातळ्यामुळे क्ष किरणांचे परावर्तन होत असते असा विचार केल्यास, क्ष किरणांच्या सहाय्याने स्फटिकरचना शोधून काढण्याचा प्रश्न बराच सोपा होतो असे डब्ल्यु. अेल्. ब्रॅगने दाखवले. सोबत प्रमाणबद्ध साध्या चौकोनी घनाची आकृती दिली आहे. तीवरुन स्फटिकामध्ये निरनिराळ्या परमाणू-

मुळे निरनिराळ्या पातळ्या कशा तयार होतात हे सहज लक्षात येईल. आकृतीत दाखवलेल्या घन चौकोनाला CGFB या सारखे सहा पृष्ठभाग असतात. हे सहा पृष्ठभाग म्हणजे प्रत्येकी अेक वेगळी पातळी. त्या शिवाय CHEB व CAPM यासारख्या इतर पातळ्या त्यात असतात. शेजारच्या चौकोनाच्या I या टोकातून किंवा कोपऱ्यावरच्या बिंदूतून जाणारी cbl अशीही पातळी कल्पिता येते. या सर्व पातळ्यामध्ये कितीतरी परमाणू असतात व ते परमाणू निरनिराळ्या चौकोनांच्य टोकाला असतात. शिवाय या पातळ्याना समांतर असणाऱ्या पातळ्या असतात व या स्फटिकजालकात सर्वत्र आढळतात. स्फटिक अेककाच्या प्रमाणबद्ध चौकानाच्या कडेची लांबी समजून आली तर या निरनिराळ्या परस्परास समांतर असणाऱ्या पातळ्यातील अंतर गणिताने काढता येते. आरशावरुन जसे प्रकाशकिरणांचे परा–वर्तन होते तसेच या पातळ्यावरून क्ष किरणांचे परावर्तन होत असे समजण्याचे कारण नाही. स्फटिकजालकात ज्या पातळ्या आपण कल्पिलेल्या आहेत त्या पातळ्या-मध्ये क्ष किरणांचे परावर्तन करू शकेल असे काहीही नाही. फक्त ज्या ठिकाणी परमाणू असतात तेथूनच क्षकिरणांचे परावर्तन होत असते.

डब्यु, अेल्. ब्रॅगने असे सिद्ध केले की काही विशिष्ट परिस्थितीमध्ये, पर–स्परापासून सारख्या अंतरावर असणाऱ्या व परस्पराना समांतर असणाऱ्या पातळ्यांच्या समुच्चयाचा असा अेकंदर परिणाम घडून येतो की त्यामुळे अेकाच पातळीवरून परावर्तन झाल्यासारखी परावर्तित क्षकिरण शलाका मिळते. आरशा–कडे जाणाऱ्या प्रकाशशलाकेचा आरश्याच्या पातळीशी होणारा कोन जसा परावर्तित प्रकाशशलाकेचा आरश्याच्या पातळीशी होणाऱ्या कोनाबरोबर असतो त्याप्रमाणे स्फटिकजालकातील पातळ्याबरोबर क्षकिरण शलाकेचा होणारा कोन परावर्तित क्ष किरण शलाकेच्या त्याच पातळ्याशी होणाऱ्या, कोनाबरोबर असतो. ब्रॅगच्या 'क्षकिरण व स्फटिकरचना' या पुस्तकातून घेतलेली अेक आकृती येथे दिली, आहे. त्या आकृतीत परमाणू टिंबाने दाखवले आहेत. परमाणूच्या पातळीकडे येणाऱ्या. क्षकिरण लहरीवर, परमाणूंचा काय परिणाम होतो हे त्या आकृतीत दाखवले आहे क्ष किरण लहरी परमाणूवर आदळल्यानंतर तिचे विकरण होऊनकितीतरी सूक्ष्म लहरी निर्माण होतात. त्या सूक्ष्म लहरींच्या परिणामाचा विचार करता, P'P' अशी परा-वर्तित क्षकिरण लहरी निर्माण झाल्याचे आढळते. या परावर्तित क्षकिरण लहरींची दिशा अशी असते की क्षकिरण शलाकेचा परावर्तन कोन, आपाती कोनाबरोबर असतो. परमाणूंच्या पहिल्या पातळीतून पलीकडे जाणाऱ्या क्ष किरणांचे त्या पुढच्या पातळीतील परमाणूकडून विकरण होते व हा प्रकार पुढेही चालू राहातो. परावर्तन

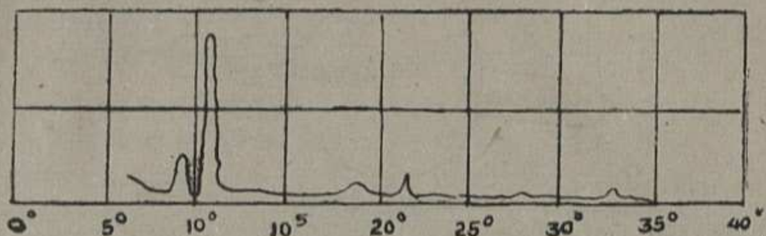


आकृती - 12

स्फटिकाच्या अणुमुळे क्ष किरणांचे विकरण

झालेल्या क्षकिरण लहरी अेकाच दिशेस असल्या तरी त्या सर्व लहरी अगदी अेक–सारख्या असतीलच असे नाही. परावर्तन कोन Q याचे मूल्य, $n\lambda = २d\ SinQ$

या समीकरणाप्रमाणे असले, तर त्या परार्वतित क्षकिरणलहरींच्या कला किंवा Phases अेकमेकानुरुप असतात व अशा वेळी त्या क्षकिरणलहरी अेकमेकीस पुष्टी देत असतात. वर दिलेल्या समीकरणात λ = क्षकिरणलहरींची तरंगलांबी, d = परमाणूंच्या पातळयामधील अंतर व n = १, २, ३ यासारखा पूर्णांक अशी मूल्ये असतात. या समीकरणात बसू शकेल अशी परिस्थिती असल्यास ती परिस्थिती ब्रॅग परिस्थिती या नावाने ओळखतात. ब्रॅग परिस्थिती नसल्यास परा–र्वतित क्षकिरण लहरींच्या कला अेकमेकासारख्या नसतात किंवा अंशत: अथवा कधी पूर्णपणे एकमेकांच्या विरूद्ध असतात. अशा वेळी क्षकिरणशलाका अेकमेकास छेद देतात व त्यामुळे परार्वतित क्षकिरण शलाकेची तीव्रता कमी होते. त्यामुळे आपाती कोनाचे काही ठराविकच मूल्य असल्यासच बृहत्तम तीव्रतेची परार्वतित क्षकिरण–



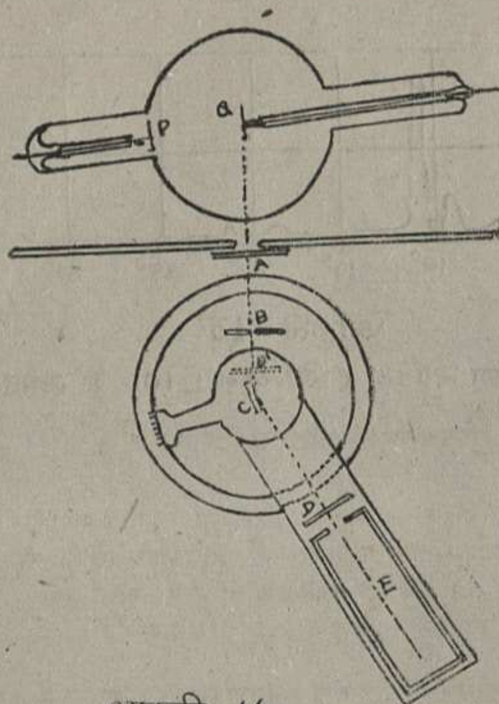
आकृती - 13

क्ष-किरण वर्णपट (स्पिल्व्हिन, [100] *समतल पृष्ठ)

पृष्ठभागाशी ओझरता होणारा कोन

शलाका मिळते. सोडीयम क्लोराइडच्या स्फटिकाच्या बाबतीत आपाती कोन ५.९°, ११.८५° व १८.१५° असतानाच, परावर्तित क्षकिरणशलाकेची तीव्रता बृहत्तम असते. या कोनांच्या Sin ची मूल्ये काढल्यास ती मूल्ये जवळ जवळ १, २, ३ या प्रमाणात येतात व त्या वेळी n चे मूल्य १, २, ३ असे येते.

क्ष किरण शलाकेचे स्फटिकातील पातळयाबरोबर होणारे कोन व परावर्तित क्ष किरण शलाकेची तीव्रता अचूक मोजण्यासाठी ब्रॅगने क्ष किरण स्पेक्ट्रॉमीटर हे उपकरण तयार केले. सोबतच्या आकृतीवरून या उपकरणाचे कार्य कसे चालते ते समजावून घेता येईल. ही आकृती ब्रॅगच्या 'क्ष किरण व स्फटिकरचना' या पुस्तकातून घेतली आहे. P या अक्षराने कॅथोड दाखविला आहे. Q हा ॲन्टिकॅथोड असून, त्यावर कॅथोड किरण आदळल्यावर, क्ष किरणांची उत्पत्ती होत असते A व B या अत्यंत अरुंद किंवा सूक्ष्म फटी असून, त्यांच्यामुळे क्ष किरण शलाका अेखाद्या रेषेसारखी सूक्ष्म होते. C हा स्फटिक असून, गोल फिरु शकणाऱ्या वर्तुळाकार तबकडीवर त्याचे स्थान पक्के केलेले असते.या तबकडीला अेक दर्शक लावलेलाअसतो; या दर्शकामुळे क्ष किरणशलाका स्फटिकाच्या पातळीबरोबर होणारा कोन मोजता येतो. D ही कमीजास्त करता येण्यासारखी सूक्ष्म फट असून, तीमधून परावर्तित क्ष किरण शलाका E या आयोनायझेशन चेंबरमध्ये येते. E हे आयोनायझेशन चेंबर स्फटिकाभोवती फिरवता येते. स्फटिक ज्या गोल तबकडीवर ठेवलेला असतो त्या तबकडीचे केंद्र व आयोनायझेशन चेंबर वर्तुळाकार फिरू शकते. त्या वर्तुळाचे



आकृती - 14
ब्रॅगचा क्ष-किरण वर्णपटमापी

केंद्र अेकच असते. आयोनायझेशन चेंबर इलेक्ट्रोस्कोपला जोडलेले असते व त्याच्या सहाय्याने आयोनायझेशन प्रवाहाची म्हणजे पर्यायाने परावर्तित क्ष किरण शला-केची तीव्रता मोजता येते.

पहिल्या महायुद्धामुळे नेहमीचे नोबेल व्याख्यान १९१५ साली झाले नाही. ते पुढे ढकलावे लागले. सरते शेवटी १९२२ च्या सप्टेंबर महिन्यात प्रा. डब्ल्यु. अेल्. ब्रॅगने स्टॉकहोम येथे ते व्याख्यान दिले. त्या व्याख्यानातून पुढचा उतारा घेतला आहे.

प्रोफेसर फॉन लावे याना नोबेल पारितोषिक देऊन आपण त्यांचा बहुमान केला आहेच. त्यानी लावलेल्या शोधामुळे विज्ञानाच्या अेका नव्या क्षेत्रात म्हणजे

क्ष किरणांच्या वक्रीभवनावरुन वस्तुमात्रांच्या रचनेचा शोध लावण्याच्या क्षेत्रात प्रगती करणे शक्य झाले आहे. क्ष किरणांचे वक्रीभवन कसे होत असावे व त्याचे सत्यस्वरुप कसे शोधून काढता येईल याविषयी विचार करुन तो अशा निष्कर्षाला आला की स्फटिकरुपाने निसर्गाने अेक उत्तम प्रकारची त्रिमिती डिफ्रॅक्शन ग्रेटिंग आपल्याला दिली आहे. क्ष किरण जर खरोखरीच्या विद्युतचुंबकीय लहरी असतील तर, त्यांची तरंगलांबी अतिशय सूक्ष्म म्हणजे 10^{-8} सेन्टीमीटरच्या आसपास असली पाहिजे, असा निष्कर्ष तोपर्यंतच्या संशोधनावरुन निघत होता. सोहंके, फेडेरॉव व त्यांचे इतर सहकारी यांनी स्फटिकरचनेच्या अभ्यासावरुन असे सिद्ध केले होते की स्फटिकातील अणू किंवा परमाणू भूमितीच्या नियमांना धरुन अगदी आदर्श पद्धतीने व्यवस्थित शिस्तवार किंवा नियमनिष्ठ व प्रमाणबद्ध असले पाहिजेत. स्फटिकाच्या अणूतील किंवा परमाणूतील अंतर 10^{-8} सेन्टी-मीटरच्या आसपास असले पाहिजे हे गणिताने काढता येते. स्फटिकाच्या अणूतील किंवा परमाणूतील अंतर व क्षकिरणांच्या तरंगांची अंदाजलेली लांबी साधारणपणे एकमेकासारखी असल्याने क्ष किरण स्फटिकातून जाताना, त्यांचे डिफ्रॅक्शन किंवा वक्रीभवन होईल, असा अंदाज करता येत होता. फॉन लावेने फ्रीडरिच व निपिंग यांच्या सहकार्याने क्ष किरणांची एक सूक्ष्म शलाका स्फटिकातून धाडण्याचा प्रयोग केला. अपेक्षिलेल्याप्रमाणे क्ष किरणांचे वक्रीभवन झाले व स्फटिकामागे ठेवलेल्या फोटोग्राफिक प्लेटवर नियमनिष्ठ पद्धतीने काढलेले प्रमाणबद्ध काळे ठिपके मिळाले, आणि क्षकिरण स्फटिकातून धाडल्यास त्यांचे वक्रीभवन होते हे सिद्ध करणारा पुरावा मिळाला.

प्रो. लावे याने आपले पहिले प्रयोग झिंग सल्फाइडच्या स्फटिकावर केले. त्या स्फटिकाच्या मागे ठेवलेल्या फोटोग्राफिक प्लेटवर मिळालेल्या नियमनिष्ठ, प्रमाण-बद्ध काळ्या ठिपक्या वरुन झिंग सल्फाइड स्फटिकाची रचनाही नियमनिष्ठ असली पाहिजे, हे सिद्ध होत होते. झिंक सल्फाइडचा मूळ स्फटिक चौकोनी घन आहे असे फॉन लावेच्या प्रयोगाने सिद्ध झाले होते. त्रिमिती जालकातून क्ष किरण शलाका जाऊ दिल्यास, त्या क्ष किरण शलाकेचे त्रिमिती वक्रीभवन कसे व्हावे या विषयाची गणिती उपपत्ती त्याने बसविली व झिंक सल्फाइड स्फटिक चौकोनी घन आहे असे धरल्यास त्या स्फटिकाच्या मागे ठेवलेल्या फोटोग्राफिक प्लेटवर मिळालेल्या प्रमाण-बद्ध काळ्या ठिपक्यांची स्थाने त्या उपपत्तीला धरुन आहेत असे त्याने सिद्ध केले. या उपपत्तीची गणिती अनुमाने जास्त तपशिलात काढताना, क्ष किरण शलाकेचे

त्रिमिती वक्रीभवन झाल्यावर निरनिराळ्या दिशामध्ये वक्रीभवन झालेली शलाका मिळाली पाहिजे असे असले तरी काही ठराविक दिशेनेच वक्रीभवन होते व त्याच शलाकांचा ठसा काळ्या ठिपक्यांच्या रुपाने फोटोग्राफिक प्लेटवर उठतो याचे स्पष्टीकरण देण्याचा त्याने प्रयत्न केला. क्ष किरण शलाकेमध्ये काही ठराविक तरंगलांबीचे क्ष किरण असले पाहिजेत आणि त्या तरंगलांबीच्या क्ष किरणांचे वक्रीभवन होईल अशी परिस्थिती असल्यासच, त्या क्ष किरणांचे वक्रीभवन होऊन फोटोग्राफिक प्लेटवर काळे ठिपके मिळतील असे त्याचे स्पष्टीकरण होते.

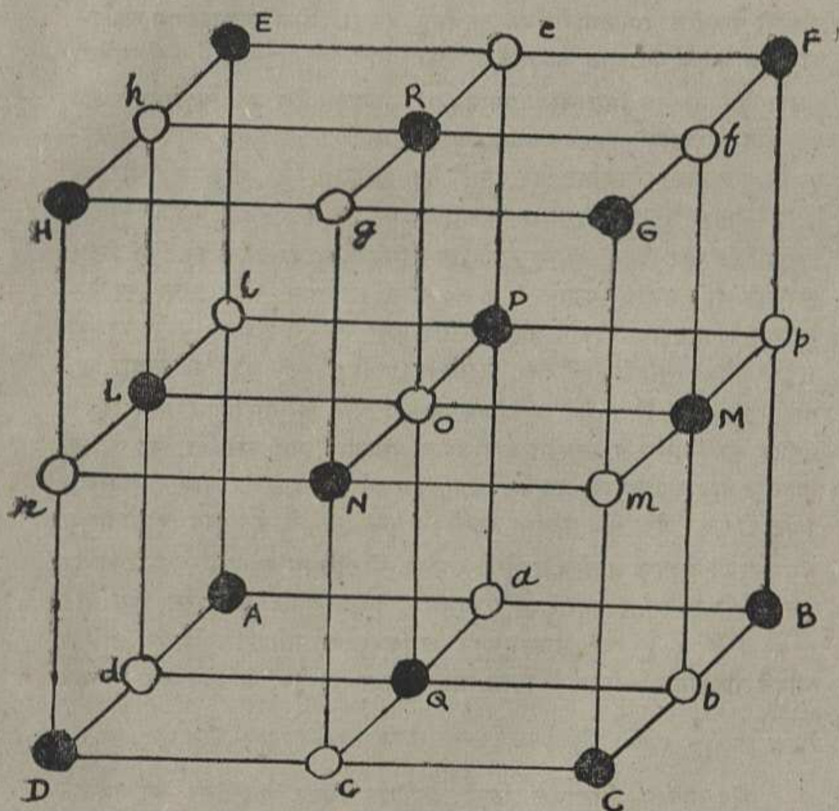
त्यांच्या संशोधनाचा अभ्यास केल्यावर माझ्या असे मनात आले की क्ष किरण शलाकेचे काही ठरावीक दिशानीच वक्रीभवन होते. याचे कारण क्ष किरण तरंगलांबीच्या वैशिष्ठ्यात शोधण्याऐवजी, ते स्फटिकाच्या रचनेतच शोधले पाहिजे. क्ष किरणाचे स्वरुप श्वेत प्रकाशासारखेच असले पाहिजे व त्यात निर-निराळ्या तरंगलांबीच्या लहरी असायला पाहिजेत. तेव्हा हा प्रश्न सोडविण्याचा मी जरा वेगळ्या प्रकारे प्रयत्न केला. प्रमाणबद्ध जालकाच्या ज्या स्थानाहून क्ष किरणांचे वक्रीभवन होत असते त्यावर विविध तरंगलांबीच्या क्ष किरण लहरी पडल्यास काय होईल याचा मी विचार केला. हा विचार करता, वक्रीभवनामुळे स्फटिकातील परमाणूच्या पातळ्यावरुन क्ष किरणांचे परावर्तन झाल्यासारखा परिणाम दिसून येईल असा निष्कर्ष निघाला. जालकाचे निरनिराळे बिंदू, परस्पराना समांतर अशा पातळ्यात वाटले जातील. वक्रीभवन बिंदूवरुन, क्ष किरण लहरी पुढे गेली म्हणजे त्या लहरीचे विकरण होईल आणि वक्रीभवनबिंदू जर एका पातळीत असतील तर वक्रीभवन झालेल्या लहान लहान लहरी अशा रीतीने एकत्र होतील की क्ष किरण शलाकेचे परावर्तन झाल्यासारखे दिसेल.

पाठोपाठच्या परमाणू पातळ्यावरुन परावर्तन झालेल्या क्ष किरण शलाका एकत्र येऊन एक क्ष किरण शलाका बनेल व तिला $n\lambda = २d \sin Q$ हे समीकरण लावता येईल. यातील λ = क्ष किरणांची तरंगलांबी, d = परमाणू पातळ्यातील अंतर व Q = परमाणू पातळीशी क्ष किरण शलाकेचा कोन आणि n = १, २, ३, इत्यादी क्रमांक होत.

– – – – –

क्ष किरणांचे वक्रीभवन झाल्याने, त्यांचे परावर्तन झाल्यासारखा परिणाम दसून येतो असे मानण्यात, फॉन लावेने मांडलेल्या गणितात समाविष्ट न झालेले

असे कोणतेही नवीन तत्व किंवा सिद्धांत नाही. क्ष किरणांचे स्फटिकातील परमाणू पातळयावरुन परावर्तन होते असे मान्य केले तरी झिंक सल्फाइड स्फटिकातील काही ठराविक पातळयावरुनच क्ष किरण शलाकेचे जास्तीत जास्त परावर्तन का होते व इतर पातळयावरुन परावर्तन होण्याची शक्यता असताही का होत नाही हा प्रश्न अनुत्तरितच राहिला. फॉन लावेने मांडलेले गणित पुन्हा तपासून



आकृती - 15 ब्रॅगची आकृती - 1
सोडीयम क्लोराइड किंवा पोटॅशियम क्लोराइड स्फटिकातील अणुंची रचना.

पाहाता त्या प्रश्नाचे उत्तर मला मिळाले. क्ष किरणांचे वक्रीभवन करणारी केन्द्रे पृष्ठभाग केंद्रित घन चौकोनी जालकात आहेत व ते जालक साधा घन चौकोन नाही असे गृहित धरल्यास, काही ठराविकच पातळ्यावरुन क्ष किरणांचे जास्तीत जास्त परावर्तन का होते हे सांगता येते. पृष्ठभाग केन्द्रित घन चौकोनी जाल-कात, घन चौकोनाच्या आठ टोकावर व चौकोनाच्या सहा पृष्ठभागांच्या केन्द्रस्थानी परमाणू असतात. जालकाच्या पातळ्यातील परमाणूंच्या संख्येप्रमाणे, पातळ्यांचा क्रम लावला, तर पृष्ठभाग केंन्द्रित चौकोनी घनातील पातळ्यांचा क्रम, साध्या चौकोनी घनातील पातळ्यांच्या क्रमाहून भिन्न असतो. झिंक सल्फाइडच्या स्फटि-काचे मूळ जालक पृष्ठभाग केन्द्रित घन चौकोन आहे असे धरल्यास, फॉन लावेला फोटोग्राफिक प्लेटवर मिळालेल्या प्रमाणबद्ध ठिपक्यांचे पटेल असे स्पष्टीकरण देता येते. श्वेत किरणांचे वक्रीभवन होऊन, वर्णपटातील काही ठराविक रेषांच्या तीव्रते-मुळे ते काळे ठिपके मिळतात असे सांगता येते. त्यानंतर मी सोडीयम क्लोराइड व पोटॅशियम क्लोराइड यांच्या स्फटिकातून क्ष किरण धाडण्याचा व स्फटिकामागे फोटोग्राफिक प्लेट ठेवून, त्यावर काळे ठिपके मिळविण्याचा प्रयोग केला. सोडीयम क्लोराइडच्या बाबतीत मिळालेल्या ठिपक्यावरुन सोडीयम क्लोराइडचा स्फटिक पृष्ठभाग केन्द्रित घन चौकोन आहे असे सिद्ध होते. तर पोटॅशियम क्लोराइडच्या बाबतीत मिळालेल्या ठिपक्यावरुन, पोटॅशियम क्लोराइडचा स्फटिक साधा घन चौकोन आहे असे सिद्ध होते. सोडीयम क्लोराइडचे व पोटॅशियम क्लोराइडचे स्फटिक अेकमेकासारखे असावेत असा अंदाज असल्याने, या स्फटिकांचे मूळ जालक आकृतीत दाखवल्याप्रमाणे असावेत असा निष्कर्ष मी काढला. चौकोनी घनाच्या प्रत्येक टोकावर अेक अेक परमाणू असतो व पृष्ठभाग केन्द्रित घन चौकोनाच्या पृष्ठभागावर अेकाच जातीचे परमाणू असतात. पोटॅशियम क्लोराइड स्फटिकाच्या बाबतीत पोटॅशियम व क्लोरीनचे परमाणूभार जवळ जवळ अेकसारखे असल्याने (३९ व ३५·५) त्या परमाणूकडून क्ष किरणांचे समान वक्रीभवन होते व त्यामुळे पोटॅशियम क्लोराइडचा मूळ जालक साधा चौकोनी घन आहे असा निष्कर्ष निघतो.

फॉन लावेला मिळालेले ठिपके, अतिशय सूक्ष्म लहरींच्या वक्रीभवनाने मिळाले असे नक्की ठरत होते तरी त्या लहरी क्ष किरणांच्या नसण्याची शक्यता होती. स्फटिकामुळे ज्यांचे वक्रीभवन होत असते त्या सूक्ष्म लहरी म्हणजे क्ष किरणच होत हे ठरविण्याचे काम माझ्या वडीलांनी केले. स्फटिकावरुन परावर्तित झालेल्या

क्ष किरण शलाकेने वायूचे आयनीकरण होत असते असे त्याना आढळले. क्ष किरण शलाका स्फटिकाच्या पृष्ठभागावर निरनिराळ्या कोनाने पडत असता, परावर्तित क्ष किरण शलाकेची तीव्रता त्यानी मोजली. क्ष किरण शलाकेची तीव्रता मोजण्या–साठी त्यानी जे उपकरण वापरले त्याचीच सुधारलेली आवृत्ती म्हणजे सध्याचे क्षकिरण स्पेक्ट्रॉमीटर उपकरण होय. हे उपकरण वापरुनच आम्ही आमचे संशोधन पूर्ण केले.

क्ष किरण शलाकेचे आपाती कोन भिन्न भिन्न असताना, माझ्या वडीलानी परावर्तित क्ष किरण शलाकेची तीव्रता मोजली. त्यावेळी त्याना असे आढळले की स्फटिकाच्या पृष्ठभागाशी काही ठराविकच आपाती कोन असताना, परावर्तित क्ष किरण शलाकेची तीव्रता जास्तीत जास्त असते. आपाती कोन व तरंगलांबी यांचा परस्परसंबंध सांगणाऱ्या समीकरणाप्रमाणे ही तीव्रता असली पाहिजे हे उघड असल्याने, ठराविकच आपाती कोन असताना, परावर्तित क्ष किरण शला–केची तीव्रता बृहत्तम असते या आधारावर असे म्हणता येते की ॲन्टी कॅथोड–पासून काही ठराविकच तरंगलांबीचे क्ष किरण मिळतात. स्फटिकाच्या इतर पृष्ठभागावरुन क्ष किरणांचे परावर्तन घडवून आणून, परावर्तित क्ष किरण शलाकेची तीव्रता मोजल्यास, ॲन्टी कॅथोडपासून अेकाच तरंगलांबीचे क्ष किरण मिळतात असे सिद्ध करता येते. स्फटिकाच्या निरनिराळ्या पृष्ठभागावरुन क्षकिरणांचे परावर्तन घडवून, क्ष किरणशलाकेची तीव्रता कोणता विशिष्ट कोन असता, दिसून येते यावरून स्फटिकाच्या मूळ जालकात परमाणूंची रचना काय आहे हे ठरवता येते. लावे फोटोग्राफमुळे सोडीयम क्लोराइड व पोटॅ–शियम क्लोराइड यांच्या स्फटिकांच्या मूळ जालकांच्या रचनेविषयी जे निष्कर्ष निघत होते ते निष्कर्ष बरोबर असल्याचे क्ष किरणस्पेक्ट्रॉमीटरच्या सहाय्याने नक्की करण्यात आले. त्यानंतर कॅल्साइट, झिंक सल्फाइड, फ्ल्युओरस्पार व आयर्न सल्फा-इड यांच्या स्फटिकांच्या मूळ जालकांची रचना क्षकिरण स्पेक्ट्रॉमीटरच्या सहाय्याने आम्ही ठरवली.

या स्फटिकांच्या मूळ जालकातील परमाणूंची रचना समजून आल्यानंतर स्फटिकांच्या ज्या पातळ्यावरुन क्ष किरणांचे परावर्तन होते, त्या पातळ्यातील अंतर मोजता येते व त्यावरुन क्ष किरणांची तरंगलांबी नक्की किती आहे ते ठरवता येते.

प्लॅटिनम, ऑस्मियम, टंग्स्टन, निकेल व इतर निरनिराळया धातूंचे ॲन्टीकॅथोड असलेल्या कॅथोड नलिका वापरल्या तर ॲन्टी कॅथोड ज्या धातूचा बनवावा, त्या धातूप्रमाणे क्ष किरणांची तरंगलांबी बदलत असते असे आढळले. ॲन्टी कॅथोडसाठी वापरलेल्या धातूचे वैशिष्ठ्य दाखवणाऱ्या क्ष किरणांची तरंगलांबी, बार्कला यानी शोधलेल्या क्ष किरणांच्या के व अेल तरंटलांबीशी बरोबर जुळते. बार्कलाने के व अेल् तरंगलांबी म्हटलेल्या क्ष किरणांची निर्मिती करण्यासाठी कॅथोड किरणांची उर्जा किती असली पाहिजे, ते व्हिडिंगटनने शोधून काढले. क्ष किरण स्पेक्ट्रॉमीटर वापरुन माझ्या वडीलानी के व अेल् क्ष किरणांची तरंगलांबी मोजली तेव्हा त्या किरणांची वारंवारता आणि प्लँकचा स्थिरांक hयांचा गुणाकार, क्ष किरण निर्मितीसाठी अवश्य अशा कॅथोड किरण उर्जेइतका येतो असे त्याना समजून आले. क्वांटम नियम क्ष किरणांच्या बाबतीत लावण्याचे हे पहिलेच उदाहरण आहे.

फॉन लावेच्या संशोधनाने, स्फटिक रचनेचा शोध व क्ष किरण स्पेक्ट्रा असे संशोधनाचे दोन भिन्न मार्ग उपलब्ध झाले. यापैकी क्ष किरण स्पेक्ट्रा या क्षेत्रात मोस्लेने प्रथमत: प्रवेश केला. मोस्लेने केलेल्या मौलिक संशोधनामुळे मूलतत्त्वांचा आवर्तनसारणीतील क्रमांक व स्थान ठरविण्याचे नियम उपलब्ध झाले. आवर्तन–सारणीतील अेका मूलतत्वाकडून त्याच्या पुढच्या मूलतत्वाकडे जाताना, त्या मूलतत्वापासून मिळणाऱ्या क्ष किरणांच्या के व अेल् लहरींची वारंवारता अेका ठराविक क्रमाने किंवा ठराविक नियमानुसार बदलते व वारंवारतेतील हा बदल इतका नियमानुसार होत असतो की मूलतत्त्वापासून मिळणाऱ्या क्ष किरणांच्या के व अेल् लहरींच्या वारंवारतेवरुन मूलतत्वाचे आवर्तनसारणीतील स्थान नक्की ठरवता येते. तसेच आवर्तनसारणीत अेखादे अशोधित मूलतत्व असल्यास त्या मूलतत्वाचे आवर्तन सारणीत कोणते स्थान असावे हे इतर मूलतत्त्वांच्या परमाणुक्रमांकाच्या अभ्यासावरुन सांगता येते. त्यानंतर क्ष किरण स्पेक्ट्रॉस्कोपीच्या किंवा वर्णपटाच्या तंत्रात खूपच सुधारणा झाली आहे. ही सुधारणा घडवून आणण्याच्या कामी प्रो सिगबान यांचे परिश्रम विशेष कारणीभूत झाले आहेत. क्ष किरण स्पेक्ट्रा किंवा वर्णपट अत्यंत अचूक व नेमके मोजण्यात त्यांच्या इतके कौशल्य दुसऱ्या कोणाला दाखवता आले नाही.

क्ष–किरण स्पेक्ट्रॉमीटरमध्ये अेकच स्फटिक वापरतात. आमच्या सुरवातीच्या प्रयोगामध्ये आकाराने मोठे स्फटिक वापरले होते व त्यांच्या नैसर्गिक किंवा मुद्दाम तयार केलेल्या पृष्ठभागावरुन परावर्तन होणाऱ्या क्ष-किरणांचा अभ्यास केला

होता. आम्ही वापरले तितके मोठे स्फटिक वापरण्याची आवश्यकता नाही. कारण आम्ही वापरलेले आयोनायझेशन चेंबर इतके संवेदनाक्षम आहे की अेक किंवा दोन मिलीमीटर लांबीच्या स्फटिकावरून परावर्तन होणाऱ्या क्ष किरणांचेही परीक्षण त्याच्या सहाय्याने करता येते. अेक किंवा दोन मिलीमीटर लांबीचा स्फटिक वापरल्यास त्या स्फटिकातील सर्व पातळयावरून क्ष किरणांचे परावर्तन होते व या स्फटिकाची जाडी इतकी कमी असते की त्याकडून क्ष किरणांचे फार मोठे शोषण होते. आम्ही तयार केलेल्या उपकरणाच्या मध्यभागी अेक छोटासा स्फटिक ठेवून त्याचा अेखादा पृष्ठभाग अक्षाशी समांतर करता येतो, व त्यावरून परावर्तन होणाऱ्या क्ष किरणांचा अभ्यास करता येतो. त्यानतर तो स्फटिक काही ठराविक अंशातून फिरवून, मग त्यावरून परावर्तन होणाऱ्या क्ष किरणांचे परीक्षण करता येते. अशा रितीने स्फटिकातील शक्य तितक्या पातळयावरून परावर्तन होणाऱ्या क्ष किरणांचा संपूर्ण अभ्यास करता येतो. स्फटिकांचा अभ्यासक ज्याप्रमाणे गोनि–ओमीटर वापरून, स्फटिकांच्या निरनिराळ्या पृष्ठभागातील कोनांचे मापन करतो, त्याप्रमाणे क्ष किरण स्पेक्ट्रॉमीटर स्फटिकांचे मापन करतो. फरक इतकाच की स्फटिकाच्या पृष्ठभागात दिसत असलेला कोन गोनिओमीटरने मोजता येतो, तर क्ष किरण स्पेक्ट्रॉमीटरने स्फटिकाच्या निरनिराळ्या पातळीतील कोन व त्या पातळयातील अंतर मोजता येते. स्फटिकाची पूर्ण वाढ झाली नसली तरी हे कार्य क्ष किरण स्पेक्ट्रॉमीटरला करता येते हे विशेष आहे.

संशोधनाचे परिणाम

फॉन लावेच्या शोधानंतर आणि त्याच्या स्वतःच्या व त्याच्या वडिलांच्य-संशोधनाला सुरवात झाल्यानंतर प्रो. डब्ल्यु. अेल्. ब्रॅगचे नोबेल पारितोषिक व्याख्यान झाले. तोपर्यंतच्या दहा वर्षातला अनुभव लक्षात घेता, पदार्थांची रचना शोधून काढण्याची अेक उत्कृष्ट पद्धत ब्रॅगच्या संशोधनाने उपलब्ध झाली. स्फटिक रचनेच्या अभ्यासाच्या पद्धतीत ब्रॅगच्या संशोधनाने क्रांतीकारक फरक झाला. स्फटिकातील निरनिराळे परमाणू परस्पराशी कसे जोडले गेले आहेत, त्यांचे पर–स्परातील अंतर काय आहे हे अगदी अचूकपणे सांगता येऊ लागले आहे. ब्रॅगच्या शोधानंतरच्या दहा वर्षांत व नंतरही वेगवेगळ्या पदार्थांची स्फटिकरचना ब्रॅगने त्याच्या सहकाऱ्यांनी व इतर शास्त्रज्ञांनी शोधून काढली आहे. पदार्थांच्या स्फटिक रचनेच्या माहितीमुळे कितीतरी प्रश्नावर उद्‌बोधक प्रकाश पडला आहे, व रसायन-

शास्त्राच्या दृष्टीने स्फटिक रचनेविषयीच्या माहितीस विशेष महत्व आहे हे कबूल केले पाहिजे.

ब्रॅगच्या पद्धतीने स्फटिकरचनेविषयी संशोधन केल्यानंतर अेक गोष्ट विशेषेकरुन लक्षात आली आहे. स्फटिकामध्ये मॉलीक्युलना किंवा रेणूना अस्तित्वच नाही. स्फटिकामध्ये जर कोणाचा विचार करायचा असेल तर तो त्यातील परमाणूंचा. उदाहरणार्थ सोडीयम क्लोराइडच्या स्फटिकामध्ये सोडीयम व क्लोरीनचे परमाणू परस्परापासून दूर असतात व तेथे ते कधीही अेकत्र आलेले दिसत नाहीत. सोडीयम क्लोराइडचा रेणू स्फटिकात कधीही मिळत नाही. परमाणूंची रचना समजावून घेण्याच्या कामी ब्रॅगच्या पद्धतीने खूपच महत्त्वाची माहिती हाती आली आहे. प्रकाशपट विश्लेषणाची पद्धत क्ष किरणांच्या बाबतीत वापरल्यावर, इतर पद्धतीनी गोळा केलेली माहिती पडताळून पाहाता येते. इतकेच नाही तर इतकी नवीन माहिती मिळते की परमाणूच्या रचनेवर खूपच प्रकाश पडतो.

प्रकाशपट विश्लेषण पद्धतीसारखीच क्षकिरण विश्लेषण पद्धती बसविण्याचे कार्य, पहिल्या महायुद्धाच्या आधी अेच्. जी. जे. मोस्ले या संशोधकाने केले. मोस्लेच्या पद्धतीने मूलतत्वांचे परमाणुक्रमांक काढता येतात व त्यावरुन त्यांची आवर्तनसारणीतील स्थाने नक्की करता येतात. महायुद्ध सुरु झाल्यानंतर, मोस्ले सैन्यात भरती झाला. दार्दानेल्स मोहीमेवर त्याची रवानगी झाली व १९१५ मध्ये तो तेथे मृत्यु पावला. मोस्लेचा जर अकाली मृत्यू झाला नसता, तर नक्कीच त्याचे नाव नोबेल पारितोषिक विजेत्यात झळकले असते. परमाणुरचना समजावून घेण्याच्या कामी, मोस्लेची पद्धत अत्यंत उपयुक्त ठरल्याने तीही पद्धत आपल्याला समजावून घ्यायची आहे. पण त्याआधी बोरची परमाणुरचनेची उपपत्ती समजावून घ्यावी लागेल.

१९१६

या वर्षी नोबेल पारितोषिक दिले गेले नाही.

१९१७

चार्लस ग्लव्हर बार्कला

(१८७७–१९४४)

" मूलतत्त्वांच्या वैशिष्ठ्यदर्शक क्ष विकिरणांच्या शोधाबद्दल पारितोषिक "

इंग्लंडच्या लॅंकेशायर परगण्यातील लिव्हरपूल शहराजवळच्या विडनेस गावात ७ जून १८७७ रोजी चार्लस ग्लव्हर बार्कलाचा जन्म झाला. लिव्हरपूल अिन्स्टिटस्टयूटमध्ये शालेय शिक्षण पुरे केल्यानंतर त्याने १८९४ मध्ये लिव्हरपूल कॉलिजमध्ये प्रवेश मिळविला. विश्वविद्यालयीन शिक्षण पुरे करुन त्याने गणित–शास्त्रात पदवी संपादन केली. त्यानंतर प्रो. ऑलिव्हर लॉज यांच्या मार्गदर्शना–खाली भौतिकीशास्त्राचा अभ्यास करून त्याने त्याविषयातही पदवी संपादन केली. गणित व भौतिकीशास्त्र या दोन्ही विषयातील प्राविण्यामुळे प्रो. लॉज यांच्या आजारीपणात, तो त्यांच्या अैवजी व्याख्यानाचे काम करीत असे. १८९९ मध्ये भौतिकीशास्त्राची पदवी प्रथमवर्गात संपादन करून, त्याने केम्ब्रिजच्या ट्रिनिटी कॉलिजमध्ये सर जे. जे. थॉमसन यांच्या मार्गदर्शनाखाली संशोधनास सुरवात केली. १८५१ मध्य प्रदर्शन शिष्यवृत्ती मिळाल्याने, केम्ब्रिजला जाण्याच्या मिळालेल्या संधीचा त्याने भरपूर उपयोग करून घेतला. सर जे. जे. थॉमसन यांच्या हाता–

खाली दीड वर्ष संशोधन केल्यानंतर, त्याने लंडनच्या किंग्ज कॉलेजमध्ये नाव घातले. त्याकाळी प्रसिद्ध असलेल्या त्या कॉलेजच्या गायकाबरोबर संगीतात भाग घेण्याची संधी मिळावी यासाठी त्याने हे स्थलांतर केले होते. १९०२ मध्ये तो ऑलीव्हर लॉज शिष्यवृत्ती मिळवून लिव्हरपूल विद्यापीठास परतला. १९०४ मध्ये त्यास डी. अेस्सी पदवी मिळाली.

त्यानंतर त्याने कित्येक वर्षे संशोधन कार्यात घालवली. हवेतून गेल्याने जे द्वितीयकविकिरण तयार होतात त्या द्वितीयक विकिरणामुळे हा परिणाम घडून येतो असेत्यावेळी रॉन्टजेनला वाटले. त्यानंतर फ्रान्समध्ये पिअर क्युरी व सॅग्नॅक यानी धातूपासून मिळणाऱ्या म्हणजे धातूवर क्ष किरण पडल्यावर त्यापासून मिळणाऱ्या द्वितीयक विकिरणांचा अभ्यास करून, या द्वितीयक विकिरणात ऋणविद्युतभारवाही कण म्हणजे ऋणकण असतात असे सिद्ध केले.

असे जरी असले तरी, धातूवर क्ष किरण पडल्यावर मिळणाऱ्या द्वितीयक विकिरणांचा पद्धतशीर व तपशीलवार अभ्यास बार्कलाने प्रथमत:च केला असे म्हणायला हरकत नाही. केम्ब्रिजच्या कॅव्हेन्डिश प्रयोगशाळेत सर जे. जे. थॉम–सनच्या मार्गदर्शनाखाली संशोधन करीत असता, वायूमधून क्ष किरण गेल्यानंतर मिळणाऱ्या द्वितीयक विकिरणांच्या अभ्यासास त्याने सुरवात केली. लिव्हरपूलला परतल्यावर त्याने ह्याच विषयासंबंधीचे संशोधन चालू ठेवल व त्या संशोधनाचे निष्कर्ष १९०३ साली प्रसिद्ध केले. क्ष किरण नलिका लाकडी पेटीत ठेवून, ती पेटी शिशाच्या जाड पत्र्यात गुंडाळून व त्या लाकडी पेटीत व शिशाच्या पत्र्यात अेक लहानसे गवाक्ष ठेवून, क्ष किरण शलाका अेका विशिष्ट दिशेनेच मिळविण्याची व्यवस्था बार्कलाने त्या प्रयोगात केली होती. क्ष किरण नलिकेतून मिळालेल्या क्ष किरण शलाकेच्या मार्गात सुवर्णपत्र अिलेक्ट्रोस्कोप किंवा विद्युतमापी ठेवला होता. विद्युतमापीची परस्परापासून दूर झालेली सुवर्णपत्रे हळू हळू अेकमेकाजवळ आली म्हणजे त्या विद्युतमापीमधील हवेचे आयनीकरण झाल्याचे समजूत येत होते. क्ष किरण हवेतून गेल्यानंतर मिळणाऱ्या द्वितीयक विकिरणानीच, विद्युत–मापीमधील हवेचे आयनीकरण होत असते याबद्दल बार्कलाने प्रथमत: स्वत:ची खात्री करुन घेतली.

यानंतर त्याने क्ष किरणांचे प्राथमिक विकिरण या काळात त्याने जे मौलिक संशोधन केले, तेच त्याला नोबेल पारितोषिक मिळवून देण्यास कारणीभूत झाले.

१९०७ मध्ये लिव्हरपूल विद्यापीठाने त्याच्यासाठी अेक वेगळी अध्यापकीय जागा निर्माण करून, प्रगत विद्युतशास्त्रात संशोधन करण्याची त्यास संधी दिली व योग्य उपकरण साहित्यही पुरविले. लंडनच्या किंग्ज कॉलेजमध्ये व्हीटस्टन प्राध्यापक म्हणून लंडनला जाईपर्यंत तो लिव्हरपूल विद्यापीठात संशोधन करीत होता. १९१३ मध्ये अेडिनबरा विद्यापीठाने त्यास भौतिकशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. तेथेच तो शेवटपर्यंत होता.

१९४३ साली त्याच्या धाकट्या मुलाचा अपघाती मृत्यु झाल्यानंतर त्या मानसिक धक्क्याने त्याची प्रकृती खालावली. त्याचा हा मुलगा अेक निष्णात शस्त्र-वैद्य म्हणून नावारूपास येत होता. दक्षिण अफ्रिकेत अेका विमान अपघातात त्याचा मृत्यू ओढवला. धाकट्या मुलाच्या अपघाती मृत्यूच्या मानसिक धक्क्यातून, बार्कला स्वतःला सावरू शकला नाही. त्याची प्रकृती खालावत जाऊन २३ आक्टोबर १९४४ रोजी तो परलोकवासी झाला.

१९१२ मध्ये बार्कलाला लंडनच्या रॉयल सोसायटीची फेलोशिप मिळाली. १९१७ मध्ये लंडनच्या रॉयल सोसायटीने ह्युजेस पदक दिले. १९३१ मध्ये लिव्हरपूल विद्यापीठाने त्यास माननीय अेल्. अेल्. डी. पदवी बहाल केली. १९१३ मध्ये त्याने क्ष किरण विषयीच्या आपल्या संशोधनाची माहिती देणारी व्याख्याने जर्मन सायन्टिफिक अ‍ॅन्ड मेडिकल कॉंग्रेसपुढे दिली.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

फोटोग्राफिक प्लेट काळ्या कागदात गुंडाळून ठेवली तरी म्हणजे त्या प्लेट-वर प्रकाश किरण किंवा क्षकिरण पडणार नाहीत अशी काळजी घेतली तरी त्या प्लेटजवळच्या हवेतून क्षकिरण गेल्यास, त्या प्लेटवर प्रकाश पडल्यावर दिसावा तसा परिणाम झालेला दिसून येतो,असे१८९८ मध्येरॉन्टजेनला आढळून आले होते. क्षकिरण व द्वितीयक विकिरण यांचा तौलनिक अभ्यास करण्याचे काम त्याने हाती घेतले. विद्युतमापीतील हवेचे आयनीकरण, त्यातून जाणाऱ्या विकिरणांच्या तीव्र-तेवर अवलंबून असते व ते त्या तीव्रतेच्या प्रमाणात असते असे प्रथमतः आधारतत्त्व मानले. त्यानंतर प्राथमिक व द्वितीयक क्षकिरण विकिरणांच्या मार्गात, अ‍ॅल्युमिनि-यमचे पातळ पत्रे ठेवून, त्या विकिरणांचा हवेच्या आयनीकरणावर होणारा

परिणाम त्याने सुवर्णपत्र विद्युतमापीची सुवर्णपत्रे किती वेगाने खाली येऊन पर-स्पराजवळ येतात त्या वेगाच्या आधारे अभ्यासला. प्राथमिक व द्वितीयक क्षकिरणांचे ॲल्युमिनियमच्या पत्र्याकडून होणारे शोषण अेकाच प्रकारचे व अेकाच महत्तेचे असते असे त्यास आढळले.

त्यानंतर हवेखेरीज इतर वायूच्या, क्षकिरणांनी होणाऱ्या आयनीकरणाचा प्रश्न त्याने हाती घेतला. हायड्रोजन, कार्बन डायॉक्साईड, सल्फर डायॉक्साईड व हायड्रोजन सल्फाईड या वायूंचे क्षकिरणानी होणारे आयनीकरण त्याने अभ्यासले. पातळ पार्चमेन्टची किंवा पटलाची दोन गवाक्षे असणाऱ्या धातूच्या बंद पेटीत वायू भरुन, पेटीच्या एका गवाक्षातून प्राथमिक क्षकिरण आत येतील व दुसऱ्या गवाक्षातून द्वितीयक क्षकिरण बाहेर पडतील अशी त्याने व्यवस्था केली. द्वितीयक क्षकिरण बाहेर जाण्यासाठी ठेवलेल्या गवक्षाजवळ विद्युतमापी ठेवून, त्या गवाक्षा-तून द्वितीयक क्षकिरण बाहेर पडतात का व ते तेथून बाहेर पडत असल्यास त्यांची तीव्रता किती आहे हे त्याने मोजले. पेटीत ठेवलेल्या वायूच्या घनतेप्रमाणे, द्वितीयक क्षकिरणांची तीव्रता वाढते व ती वायूच्या घनतेच्या प्रमाणात असते असे त्याला आढळले. त्या उलट ॲल्युमिनियमच्या पत्र्याकडून होणाऱ्या क्षकिरण शोषणाचा अभ्यास करता, प्राथमिक व द्वितीयक क्षकिरणात काहीही फरक नाही असे त्यास आढळून आले. त्यामुळे द्वितीयक क्षकिरण म्हणजे विखुरलेले किंवा विकरण पावलेले प्राथमिक क्षकिरण होत असे अनुमान त्याने काढले. वायूच्या अणुभाराच्या किंवा रेणुभाराच्या प्रमाणात क्षकिरणांचे विकरण असून, क्षकिरण विकिरण ज्या अणु-कडून होते त्या अणूत किती क्षकिरण विकरण केन्द्रे किंवा ऋणकण आहेत यावर ते विकिरण अवलंबून असल्याने ते वायूच्या अणुभारावर अवलंबून असते असाही त्याचा निष्कर्ष होता. हा निष्कर्ष त्याने पुढील शद्बात व्यक्त केला.

समानधर्मी कणांच्या अेकत्र येण्याने निरनिराळया मूलतत्त्वांचे अणू तयार होत असल्याने अशा कणांची संख्या मूलतत्त्वाच्या अणुभारावर अवलंबून असते ही उपपत्ती मला ग्राह्य वाटते. मूलतत्त्वाच्या अणूतील ऋणकणांची संख्या व मूल-तत्त्वांचे आवर्तनसारणीतील स्थान यामध्ये काहीतरी परस्परसंबंध आहे ही कल्पना बार्कलाने यावेळी म्हणजे १९०३ साली प्रथमतःच मांडली.

यानंतर १९०४ पासून त्याने केलेल्या संशोधनामुळे क्ष किरणांचे सत्यस्वरूप समजून आले. ज्यावेळी नेहमीची दृश्य प्रकाशशलाका सूक्ष्म कणांच्यामुळे विखुरली जाते, त्यावेळी त्या शलाकेशी काटकोनात असणाऱ्या दिशेने जाणाऱ्या विकिरण पावलेल्या प्रकाशाचे ध्रुवीकरण होते असे दिसून येते. म्हणजे प्रकाशशलाकेतील आडवे तरंग शलाकेशी काटकोन करणाऱ्या पातळीतच राहातात असे दिसून येते. कोणत्याही विद्युतचुंबकीय लहरी अेखाद्या माध्यमातून जात असता, माध्यमातील सूक्ष्म कणांच्यामुळे त्या विखुरल्या गेल्या, तर प्रकाशाचे ज्याप्रमाणे ध्रुवीकरण होते तसेच त्यांचेही व्हायला पाहिजे, व विद्युत चुंबकीय लहरीतील आडवे तरंग विद्युतचुंबकीय लहरींच्या प्रवासदिशेशी काटकोन करणाऱ्या पातळीतच राहायला पाहिजेत. म्हणून क्ष किरण विद्युतचुंबकीय लहरी असल्यास त्यांचे विकरण झाल्यावर क्ष किरण शलाकेशी काटकोनात असणाऱ्या दिशेने ध्रुवीकरण झालेली क्ष किरण–शलाका मिळायला पाहिजे. ध्रुवीकरण झालेली प्रकाशशलाका ज्याप्रमाणे ओळखता येते त्याप्रमाणे ध्रुवीकरण झालेली क्ष किरण शलाका ओळखता येत नाही. त्यामुळे ते अनुमान बरोबर आहे की नाही हे पडताळून पाहाता येत नाही.

या अडचणीतून बार्कलाने अेक वेगळाच मार्ग काढला. कार्बनच्या अेका ठोकळ्यावर त्याने प्राथमिक क्षकिरण पाडले. त्या कार्बनच्या ठोकळ्यामुळे क्ष किरणांचे विकरण झाले. मूळ क्ष किरण शलाकेशी काटकोन करणाऱ्या दिशेने विकरण झालेले क्ष किरण त्याने दुसऱ्या कार्बनच्या ठोकळ्यावर पडू दिले. त्या दुसऱ्या कार्बनच्या ठोकळ्यावर पडलेल्या द्वितीयक क्ष किरणांचे विकरण झाले. दोनदा विकरण झालेल्या क्ष किरण शलाकेची तीव्रता, विद्युतमापी निरनिराळ्या ठिकाणी व वेगवेगळ्या अंतरावर ठेवून बार्कलाने मोजली. मूळ क्ष किरण शलाकेशी समांतर दिशेने जाणारी क्ष किरणशलाका साधारणतः तीव्र असल्याचे व मूळ क्ष किरणशलाकेशी काटकोन करणाऱ्या दिशेने विकरण झालेली क्ष किरण शलाका मिळत नाही व चुकून मिळालीच तर ती अत्यंत सौम्य असते असे त्यास आढळले. तेव्हा अेकदा विकरण झाल्यावर मिळालेल्या क्ष किरणांचे ध्रुवीकरण झालेले असते व म्हणून सर्वसाधारण प्रकाशात ज्याप्रमाणे प्रकाशलहरी असतात त्याप्रमाणे क्ष किरणही विद्युतचुंबकीय लहरी असतात असा निष्कर्ष त्याने काढला.

निरनिराळ्या पदार्थांवर क्ष किरण पडल्यावर, त्यांचे वेगवेगळ्या दिशेने विकरण होऊ देऊन विकरण झालेल्या क्ष किरणांची तीव्रता मोजण्याचे त्याचे कार्य

महत्वपूर्ण ठरले आहे. कार्बन (अणुभार १२), अॅल्युमिनियम (अणुभार २७) व गंधक (अणुभार = ३२) यावर पडून, विकरण झालेल्या क्ष किरणांची तीव्रता निरनिराळ्या दिशेत भिन्न असते असे त्यास आढळले. कॅल्शियम (अणु-भार ४०) वरुन विकरण झालेल्या क्ष किरणांच्या निरनिराळ्या दिशेतील तीव्रतेत थोडीशी भिन्नता त्यास आढळली. परंतू लोह (अणुभार ५६) व त्याहून जास्त अणुभाराच्या मूलतत्वांच्या बाबतीत विकरण झालेल्या क्ष किरणांच्या निरनिराळ्या दिशेतील तीव्रतेत मुळीसुद्धा भिन्नता नव्हती. त्यामुळे मूलतत्वांचा अणुभार व व त्यांची क्ष किरण शोषणक्षमता यांच्या परस्परसंबंधाचे त्याने फार कसोशीने संशोधन केले. क्ष किरणशलाका आयनीकरण कोष्ठात जाण्याआधी तिच्या मार्गात अॅल्युमिनियमचे पातळ पत्रे ठेवून, तिची तीव्रता किती कमी होते हे त्याने सुवर्णपत्र विद्युतमापीच्या सहाय्याने पाहिले. यावेळी म्हणजे १९०६ साली, क्ष किरणशला-केची तीव्रता ती अॅल्युमिनियमच्या पत्र्यातून गेल्यानंतर किती कमी झाली हे सांगण्यासाठी बार्कलाने टक्केवारी शोषण ही संज्ञा वापरली. अॅल्युमिनियमच्या पत्र्याने क्ष किरणशलाकांचे तितक्याच टक्क्यानी शोषण केले तर त्या शलाकात साम्य आहे असे बार्कला मानत असे. यानंतर सहा वर्षांनी म्हणजे १९१२ मध्ये क्ष किरणांची तरंगलांबी कशी मोजायची या विषयी फॉन लावेने संशोधन केले. क्ष किरणांची तरंगलांबी मोजण्याची पद्धत १९०६ साली माहीत नसल्याने बार्कलाने क्ष किरणांचे टक्केवारी शोषण अभ्यासून क्ष किरणांची साम्यता अजमावली व प्राथमिक क्षकिरण शलाका व ती कमी अणुभाराच्या मूलतत्वावर पडल्यावर मिळणारी द्वितीयक किंवा विकरण झालेली शलाका यात साम्य आहे असे शोधून काढले. परंतू जास्त अणुभाराच्या मूलतत्वावरुन विकरण झालेली क्ष किरणशलाका मूळच्या प्राथमिक क्ष किरणशलाकेहून अगदी भिन्न असते असे त्यास आढळले.

प्राथमिक व द्वितीयक क्षकिरण शलाकातील भेद आढळून आल्यानंतर त्याने द्वितीयक क्षकिरण शलाकांच्या अभ्यासास सुरवात केली. प्राथमिक क्षकिरण शला-केच्या मार्गात अॅल्युमिनियमचा पत्रा ठेवल्याबर तिचे जेवढे टक्केवारी शोषण होते, तेवढेच टक्केवारी शोषण तेवढ्याच जाडीचा अॅल्युमिनियचा पत्रा द्वितीयक क्ष-किरणशलाकेत ठेवल्यावर झाले तर प्राथमिक व द्वितीयक क्षकिरणशलाकात साम्य आहे व दोन्ही शलाकातील क्षकिरणांची तरंगलांबी अेकच आहे असे गृहित धरुन त्याने संशोधन कार्य चालू ठेवले. धातुवर पडून विकरण झालेल्या क्षकिरणशलाकेत, प्राथमिक क्षकिरणशलाकेत असलेले क्षकिरण असतातच, शिवाय प्राथमिक शला-

केतील क्ष किरणांच्या प्रवृत्तीहून भिन्न प्रवृत्ती असलेले जे क्षकिरण मिळतात ते किरण, प्राथमिक क्ष किरण ज्यावर पडून विकरण पावतात त्या धातूचे वैशिष्ठ्य दाखवतात. धातूवर पडणारे प्राथमिक क्षकिरण द्वितीयक क्षकिरणाहून जास्त भेदक असल्यास किंवा त्यांचे काठिण्य द्वितीयक क्षकिरणाहून जास्त असल्यास, द्वितीयक क्षकिरण जास्त अेकजातीय असतात. स्फुरदीप्तीवान पदार्थांच्या बाबतीत स्टोक्सने असे शोधून काढले की स्फुरदीप्तीवान पदार्थातून मिळणाऱ्या प्रकाशाच्या तरंग–लांबीहून कमी तरंगलांबीचा प्रकाश स्फुरदीप्तीमान पदार्थावर पडला तरच त्या पदार्थातून स्फुरदीप्ती होऊ शकते. स्टोक्सने स्फुरदीप्तीवान पदार्थांच्या बाबतीत शोधून काढलेला हा नियम व क्षकिरणांच्या आपण काढलेले निष्कर्ष यात बरेच साम्य आहे असे वाटल्याने द्वितीयक क्षकिरणाना बार्कलाने स्फुरदीप्तीवान रॉन्टजेन किरण असे नाव दिले.

क्षकिरण शोषणाचा अभ्यास करुन, क्षकिरणामध्ये दोन एकजिनसी किरण–मालिका असतात हे बार्कलाने शोधून काढले. त्यातील भेदक किंवा जास्त काठिण्य असलेल्या क्षकिरणमालिकेला त्याने ' के ' विकिरण असे नाव दिले व कमी भेदक किंवा मृदू क्षकिरण मालिकेला " अेल् " विकिरण असे नाव दिले. या दोन्ही मालि-कांच्या अभ्यासावरुन असे दिसून आले की ज्या मूलतत्त्वापासून क्षकिरणमालिका निघते त्या मूलतत्त्वाच्या अणुभाराप्रमाणे क्षकिरणांची भेदकता किंवा काठिण्य वाढत जाते. आवर्तनसारणीतील कॅल्शियम (अणुभार ४०) पासून ते ऱ्होडीयम (अणुभार १०३) पर्यंतची मूलतत्त्वे फक्त के विकिरण देऊ शकतात. रौप्य (अणु–भार १०८) पासून सेरियम (अणुभार १४०) पर्यन्तची मूलतत्त्वे दोन्ही ' के ' व ' अेल् ' विकिरण देऊ शकतात. तर टंग्सटन (अणुभार १८४) पासून बिस्मथ (२०८) पर्यन्तची मूलतत्त्वे फक्त ' अेल् ' विकिरण देऊ शकतात. त्यामुळे मूलतत्वापासून मिळणाऱ्या विशिष्ठ क्ष किरणांचे वैशिष्ठ मूलतत्त्वांच्या अणुभारावर अवलंबून असते असे अनुमान निघत होते.

क्षकिरणांच्या ' के ' मालिकेहूनही जास्त भेदकता असणारी मालिका (तिला त्याने ' जे ' मालिका असे नाव दिले होते) असावी असे कित्येक वर्षे बार्कलाला वाटत होते. पण कसोशीने प्रयत्न केल्यानंतरही, बार्कलाच्या या मताला पुष्टी देणारा पुरावा मिळालेला नाही. क्षकिरणांच्या ' अेल् ' मालिकेहून कमी भेदकता असणारी ' अेम् ' मालिका सिगबान या शास्त्रज्ञाने शोधून काढली असून जास्त अणुभाराच्या मूलतत्त्वापासून ती मिळते. या शिवाय ' अेम् ' क्ष किरण मालिके–

हूनही कमी भेदक अशी ' अेन् ' मालिका व ' अेन् ' मालिकेहून कमी भेदक अशी ' ओ ' मालिका – अशा दोन क्ष किरणमालिका मिळाल्या असून त्या मालिका अतिशय जड किंवा खूप अणुभार असलेल्या मूलतत्त्वापासून मिळतात.

द्वितीयक क्ष किरणामध्ये विशिष्ट विकिरण असतात हे बार्कलाने शोधून काढल्यानंतर हेच विशिष्ट क्ष किरण, क्ष किरण नलिकेत मिळणारे कॅथोड किरण क्ष किरण नलिकेतील ॲन्टीकॅथोडच्या जागी ठेवलेल्या विशिष्ट मूलतत्त्वावर आदळल्यावर मिळतात असे इतर शास्त्रज्ञानी शोधून काढले. मोस्ले या शास्त्रज्ञाने या विशिष्ट क्ष किरणांच्या अभ्यासातून मूलतत्त्वांचा अणुक्रमांक ठरविण्याची पद्धत बसवली.

आपल्या संशोधनाची माहिती देणारे नोबेल व्याख्यान बार्कलाने १९१७ साली दिले नाही. महायुद्ध संपल्यानंतर १९२० साली म्हणजे प्रत्यक्ष शोधानंतर चौदा वर्षांनी दिले. शोध लागल्यानंतरच्या चौदा वर्षात, त्याचा शोध शास्त्रज्ञाना संपूर्णपणे माहीत झाला होता. त्यामुळे बार्कलाने आपल्या व्याख्यानात वेगळयाच दोन मुद्द्यावर विशेष भर दिला. विकिरणाविषयीची क्वांटम किंवा ठराविक प्रमाण उपपत्ती व क्ष किरणांच्या जे मालिकेविषयीचा पुरावा या दोन गोष्टींचेच त्याने विवेचन केले. क्ष किरणांची 'जे' मालिका मिळत नाही असे सिद्ध झाले असल्याने, क्वांटम उपपत्ती विषयीचे त्याचे विचार येथे दिले आहेत.

" ज्यावेळी कोणत्याही वस्तुमात्रातून क्ष किरण प्रवास करतात त्यावेळी त्या वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या प्राथमिक विकिरणांच्या सारखेच गुणधर्म असणारे विकिरण त्या वस्तुमात्रातून बाहेर पडू लागतात. वस्तुमात्रावर पडणारे प्राथमिक किरण पडण्याच्या मार्गाच्या दिशेतील फरकाप्रमाणे वस्तुमात्रातून विकरण झालेल्या किरणांच्या तीव्रतेत होणारा फरक अभ्यासल्यास, क्ष किरण नलिकेतून निघणाऱ्या प्राथमिक विकिरणांचे थोडेसे ध्रुवीकरण होत असते असे दिसून येते. आकाशात विकरण पावलेल्या प्रकाशाचे जसे ध्रुवीकरण होत असते त्याप्रमाणे प्राथमिक विकिरण जाण्याच्या दिशेशी काटकोन करणाऱ्या दिशेत विकरण झालेल्या क्ष किरणांचे बऱ्याच मोठ्या प्रमाणात ध्रुवीकरण झालेले असते असे दिसून येते.

- - - - -

अणू, रेणू किंवा वायुस्थितीत असणारे आयन यांच्यामुळे क्ष किरणांचे विकरण होत नसून, वस्तुमात्रातील ऋणकणामुळे हे विकरण होत असते असे गृहित धरुन मी संशोधनास सुरवात केली. मूलतत्त्वाच्या अणुभाराच्या प्रमाणात त्यात ऋणकण असतात असे प्रथमतः वाटत होते. अेक घन सेन्टीमीटर जागेतील N ही कणसंख्या, त्यातील प्रत्येक कणावर असणारा e हा विद्युतभार, कणावरील e या विद्युतभाराचे कणाच्या m या भाराशी असलेले e/m प्रमाण यांची मूल्ये शक्य तितकी अचूक समजल्यावर मूलतत्त्वाच्या अणूमध्ये असणाऱ्या ऋणकणांची संख्या गणिताने काढता येते. तेव्हा हायड्रोजन अणुमध्ये अेक ऋणकण, कार्बन अणुमध्ये सहा ऋणकण, नायट्रोजन अणुमध्ये सात, ऑक्सिजन अणुमध्ये आठ, गंधक अणु-मध्ये पंधरा किंवा सोळा ऋणकण आहेत व यासारखाच प्रकार पुढेही असल्याचे दिसून येते.

मूलतत्त्वांच्या अणुमधील ऋणकणसंख्येविषयीचे हे निष्कर्ष बरोबर असल्याचे रदरफोर्ड, बोर व मोस्ले यांच्या संशोधनाने सिद्ध झाले आहे. आमच्या निष्कर्षात व रदरफोर्ड, बोर आणि मोस्ले यांच्या निष्कर्षात अेकवाक्यता हा अेक तऱ्हेचा विकिरणनिर्मिती विषयींच्या उपपत्तीला दुजोरा देणारा पुरावाच म्हटला पाहिजे. प्राथमिक विकिरणातील विद्युतक्षेत्राच्या अमलाखाली किंवा परिणामाखाली असताना, ऋणकणामध्ये काही तरी गडबड झाल्याने विकरण झालेले विकिरण मिळतात असे या नवीन तरंग उपपत्तीचे आधारतत्व आहे.

ऋणकणामधील गडबडीमुळे पाहिजे तितक्या प्रमाणात विकरण झालेले विकिरण मिळतात व त्यामध्ये काही ठराविक प्रमाण किंवा क्वांटा असू शकत नाहीत. त्यामुळे विकिरण निर्मिती ही अेक सतत प्रक्रिया असून ती कोणत्याही सीमित करणाऱ्या किंवा चिकित्सक परिस्थितीवर अवलंबून नाही.

प्राथमिक विकिरणांच्या तरंगलांबीत फरक केला तरी अल्पभार मूलतत्त्वा-वरुन विकरण झालेल्या विकिरणांच्या तीव्रतेत फरक पडत नाही असे मला आढळून आले आहे. ऋणकणामध्ये काही तरी गडबड झाल्याने विकरण झालेले विकिरण मिळतात. या उपपत्तीशी सुसंगत असाच हा प्रकार आहे. याविषयी जास्त प्रयोग केल्यानंतर असे आढळून आले की ज्यामध्ये ऋणकण अगदी दाटी-वाटीने आहेत अशा जड किंवा बहुभार मूलतत्त्वावरुन विकरण झालेल्या

विकिरणांची तीव्रता मूलतत्त्वावर पडणाऱ्या प्राथमिक विकिरणांच्या तरंगलांबी–प्रमाणे वाढत जाते. तसेच विकरण झालेल्या विकिरणांची तीव्रता तरंगलांबीप्रमाणे वाढण्याचे प्रमाण ज्या मूलतत्त्वावरुन विकरण होत असते त्या मूलतत्त्वाचा अणुभार जास्त जास्त असल्यास जास्तच असते. जवळ जवळच्या ऋणकणांच्या गडबडीमुळे विकरण झालेल्या विकिरणांच्या प्रावस्था अेकमेकींशी जुळल्या असतात आणि अेखाद्याच ऋणकणाच्या हालचालीत गडबड होत असते असे नसून, मूलतत्त्वातील सर्वच्या सर्व ऋणकणांच्या हालचालीत, अेकाच वेळी अेका समूहाच्या हालचालीत गडबड अशा तऱ्हेचे त्या गडबडीचे स्वरुप असते. म्हणून अणूचा आकार आणि त्या अणूवरुन विकरण झालेल्या विकिरणांची तरंगलांबी यांचा संबंध आहे असे विधान करता येते.

- - - - -

अशा तऱ्हेने विकरण घटनेमध्ये विकिरणांचे ठराविक क्वांटम किंवा प्रमाण असते किंवा विकिरणनिर्मितीत काही खंड असावा असे सूचित करणारा काही पुरावा नाही. उलट मला मिळालेला पुरावा क्वांटम उपपत्तीच्या विरुद्ध जातो. यासाठी आम्ही घेतलेल्या चाचण्या चांगल्याच शोधक व निर्णयात्मक होत्या. क्वांटम उपपत्तीच्या आधारे विकरण घटनेचा विचार करता येत नाही असे माझे मत आहे. विकरणविषयीचा हा निष्कर्ष शोषणाच्याही बाबतीत लागू पडतो. हलक्या किंवा अल्पभार मूलतत्त्वापासून तयार झालेल्या वस्तुमात्रातून क्ष किरण व विशेषेकरुन सूक्ष्म तरंगलांबीचे क्ष किरण जात असता वस्तुमात्राने शोषलेली बहुतेक सर्व ऊर्जा विकरण झालेल्या विकिरणांच्या रूपाने बाहेर पडत असते. प्रत्येक ऋणकणाने शोषलेली ऊर्जा व विकिरणरुपाने उत्सर्जित झालेली ऊर्जा जवळ जवळ अकच किंवा समसमान असते. त्याचा अर्थ ऊर्जेचे शोषण कितीही प्रमाणात होऊ शकेल व त्या शोषण प्रक्रियेवर कोणत्याही चिकित्सक परिस्थितीचे बंधन नाही.

मूलतत्त्वातून क्ष किरण गेल्यास, त्या मूलतत्त्वाचे वैशिष्ट दाखविणारे विशिष्ट विकिरण त्यातून बाहेर पडतात. यातील प्रत्येक विशिष्ट विकिरणावर, विकिरण उत्सर्जित करणाऱ्या मूलतत्त्वाच्या भौतिकी परिस्थितीचा व त्या मूलतत्त्वाचा कोणत्या इतर मूलतत्त्वाशी रासायनिक संयोग झाला आहे त्या परिस्थितीचा

काहीही परिणाम घडून येत नाही. मूलतत्वातून बाहेर पडणाऱ्या विशिष्ट विकिरणांचा व ते ज्यामुळे म्हणजे ज्या प्राथमिक विकिरणामुळे मूलतत्वाकडून उत्सर्जित होत असतात त्यांचा काहीही संबंध नाही. फक्त अेवढेच ध्यानात ठेवले पाहिजे की उत्सर्जित होणाऱ्या विशिष्ट क्ष किरणांच्या तरंगलांबीहून कमी तरंगलांबी असलेले क्ष किरण मूलतत्वावर पडले तरच विशिष्ट क्ष किरणांचे उत्सर्जन होते स्फुरदीप्तीवान पदार्थांच्या बाबतीत स्टोक्सचा जो नियम आहे तोच नियम याही बाबतीत लागू पडतो असे दिसते.

आतापर्यन्त मी अभ्यासलेले क्ष किरण 'के', 'अेल्' व 'अेम्' अशा तीन मालिकात मोडतात. विकिरणांचे विश्लेषण करण्यासाठी शोषणपद्धत वापर– ल्यास, 'के' मालिकेतील क्ष किरण इतके अेकजातीय असल्याचे आढळून येते की त्या 'के' विकिरणांचा वर्णपट काढल्यास फक्त अेकच रेषा मिळेल असे वाटत होते. 'अेल्' विकिरण अेकजातीय नसल्याने, त्यांच्या वर्णपटात अेकाहून अधिक रेषा मिळाव्यात असे वाटत होते.

परंतू यानंतर ब्रॅग, मोस्ले व इतर शास्त्रज्ञ यानी वापरलेल्या प्रतिरोध प्रयोगपद्धतीने के व अेल् विकिरणांचे विश्लेषण केल्यास त्या विकिरणांच्या वर्ण– पटात अेकमेकींच्या जवळ जवळ असणाऱ्या किती तरी रेषा असतात असे सिद्ध झाले आहे.

मूलतत्वावर पडणाऱ्या प्राथमिक क्ष किरणांचे ध्रुवीकरण झाले असले तरी, मूलतत्वातून उत्सर्जित होणाऱ्या विशिष्ट क्ष किरणांची त्या मूलतत्वाभोवती इतकी अेकरुप वाटणी होते की विशिष्ट विकिरणांचे उत्सर्जनावर, ज्या प्राथमिक विकिरणामुळे त्यांची निर्मिती होते त्या विकिरणांचे काहीही बंधन नाही. त्या उलट वस्तुमात्रावर पडणाऱ्या विकिरणांचा व विकरण पावलेल्या विकिरणांचा परस्पर संबंध असतो– म्हणजे वेगळ्या शद्बात वस्तुमात्रावरुन विकरण झालेल्या विकिरणावर, वस्तुमात्रावर पडलेल्या विकिरणांचे बंधन असते. प्राथमिक क्ष किरण शलाका मूलतत्वातून गेल्याबरोबर विशिष्ट विकिरणांचे उत्सर्जन होऊ लागते असे नाही. उत्सजन प्रक्रिया स्टोक्स नियमासारख्या नियमावर म्हणजे काही तरी चिकित्सक स्थितीवर अवलंबून असल्याने, विशिष्ट विकिरण उत्सर्जन हा प्राथमिक क्ष किरण मूलतत्वावर पडल्यावर दिसून येणारा अप्रत्यक्ष परिणाम आहे असे म्हणावे लागते. म्हणून या बाबतीत क्वांटम उपपत्ती लागू होण्याची शक्यता आहे असे मला वाटते.

चार्लस बार्कला

विशिष्ट विकिरण उत्पत्ती कोठे होते या विषयीचा महत्वाचा पुरावा प्राथ-मिक विकिरणांच्या शोषणाने द्वितीयक विकिरण देणाऱ्या पदार्थातून कण बाहेर पडावे त्याप्रमाणे ऋणकण बाहेर पडतात त्यावेळी मिळतो. अेखाद्या पदार्थातून प्राथमिक विकिरण गेल्यानंतर त्यांचे जे अेकंदर शोषण होते त्या शोषणाचे (विखुरल्या जाणाऱ्या विकिरणांचे शोषण सोडून) वेगवेगळे स्वतंत्र विभाग पाडता येतात असे मी दाखवले आहे. तेव्हा जे, के, अेल्, अेम् यासारखे भिन्न प्रकारचे विकिरण शोषण होते असे म्हणता येते. तसेच अणूतून बाहेर पडणाऱ्या कण–विकिरणांचे जे, के, अेल्, अेम् असे वर्गीकरण करता येते व त्याचा तशाच स्वरुपाच्या क्ष विकिरणाशी संबंध आहे.

मूलतत्वाच्या अणूने शोषण केलेली प्राथमिक शलाकेची ऊर्जा, मूलतत्वाच्या अणूमधून उत्सर्जित झालेल्या विकिरणांची ऊर्जा व अणूतून बाहेर पडणाऱ्या कणविकिरणांची ऊर्जा यांच्या अभ्यासातून खूपच माहिती मिळते. प्राथमिक शलाकेतील ' के ' विकिरणाशी संबंधित असलेली आणि कोमिन व त्यासारख्या बहुभार मूलतत्वाने शोषण केलेली बहुतेक सर्व ऊर्जा, त्या मूलतत्वाच्या अणूतून विशिष्ट ' के ' विकिरणांच्या रुपाने व ' के ' कण–विकिरणांच्या रुपाने बाहेर पडत असते. अेवढेच नाही, तर ' के ' विकिरणांची तीव्रता आणि कणविकरण उत्सर्जनाच्या वेळी बाहेर पडणाऱ्या ऋणकणांची संख्या यांचा काही ठराविक परस्परसंबंध असतो. प्राथमिक विकिरणांच्या निरनिराळ्या तरंगलांबीच्या बाबतीत असे दिसते की दर ' के ' ऋणकण उत्सर्जनाच्या वेळी अेक ' के ' क्वांटम स्फुरदीप्तीवान विकिरण बाहेर पडत असतात.

– – – – – –

विकरणनिर्मिती कशीही होत असली तरी अेक गोष्ट मात्र निश्चित आहे. ज्या अणूमधून अेक ऋणकण बाहेर फेकला जातो. त्यातून विशिष्ट विकिरण क्वांटा उत्सर्जन होत असतात. आतापर्यंत हाती आलेल्या पुराव्यावरुन असे दिसते की अणूमधून अेक ऋणकण बाहेर फेकला गेल्याबरोबर विशिष्ट विकिरणांचे उत्सर्जन होऊ लागते.

– – – – – –

विकरण झालेल्या क्ष किरणांच्या बाबतीत क्वांटम उपपत्ती लावता यत नाही अशा अर्थाच्या बार्कलाच्या उद्‌गारांचा अर्थ इतर संशोधकांचे कार्य समजावून

घेतल्याखेरीज नीटपणे लक्षात येत नाही. तरीसुद्धा हेही नमूद करायला पाहिजे की अे. अेच्. कॉम्टन याने गोळा केलेला पुरावा बार्कलाच्या म्हणण्याला दुजोरा देत नाही. इतकेच नाही तर त्याचे म्हणणे खोडून काढतो.

द्वितीयक कण विकिरणाविषयी बार्कलाने काही उद्गार काढले आहेत ते द्वितीयक कण विकिरण (ऋणकण) १९०२ मध्येच सॅग्नॅक व पी. क्युरी या संशोधकाना द्वितीयक विकिरणामध्ये मिळाले होते. वायूंचे आयनीकरण घडवून आणण्यात क्ष किरण अप्रत्यक्षरीत्या कार्य करीत असतात. वायूच्या अणूवर क्ष किरण पडल्यावर, त्या अणूमधून बीटा किरण म्हणजे अति वेगवान ऋणकण बाहेर वायूच्या अणूच्या आयनीकरणाचे प्रत्यक्ष व सत्य कारण आहे असे मत १९०७ मध्ये डब्ल्यु. अेच्. ब्रॅगने मांडले. ब्रॅगचे हे मत बरोबर असल्याचे सी. टी. आर्. विल्सनने मेघपात्रात केलेल्या प्रयोगानी सिद्ध झाले. वायूतून क्ष किरण गेल्यानंतर त्यामध्ये होणाऱ्या आयनीकरणाचे कारण शोधून काढण्यासाठी बार्कलाने १९१३ साली प्रयोग करण्यास सुरवात केली व ते प्रयोग बरीच वर्षेपर्यन्त चालू ठेवले. या प्रयोगात त्याने अणूमधून बाहेर पडणाऱ्या कणविकिरणांची ऊर्जा मोजण्यासाठी आयनीकरण पद्धत वापरली आणि अणूमधून अेक ऋणकण बाहेर पडला तर त्याच्या जोडीला अणूमधून अेक क्वांटम ऊर्जा (प्लँकचा स्थिरांक h विकिरणांची वारंवारता) द्वितीयक विकिरणरुपाने बाहेर पडते असे शोधन काढले.

संशोधनाचे परिणाम

मूलतत्वांच्या विशिष्ट क्ष किरण विकिरणांचा बार्कलाचा शोध, अणुरचनेचा व अणूमधील घटनांचा शोध घेण्याच्या बाबतीत खूपच महत्वाचा ठरला आहे. अणूरचनेच्या संशोधनाच्या बाबतीत खुद्द बार्कलाचे कार्यही कमी महत्त्वाचे नाही. बार्कलाने केलेल्या संशोधनाची पुढची पायरी मोस्ले व सिगबान यांच्या संशोधनात दिसून येते. या दोघानी क्ष किरण विश्लेषणाची पद्धत बसवली आणि बार्कलाच्या संशोधनामुळे, मूलतत्वांच्या अणूची रचना म्हणजे त्यातील ऋणकणांची संख्या व त्याचे आवर्तनसारणीतील स्थान यामध्ये याटत असणारा परस्परसंबध निश्चितपणे शोधून काढला.

१९१८

मॅक्स कार्ल अर्न्स्ट लडविग प्लँक

(१८५८-१९४८)

"कार्याचे मुख्य तत्त्व शोधून भौतिकीशास्त्राच्या वाढीस हातभार लावल्याबद्दल"

चरित्र

२३ अेप्रिल १८५८ रोजी प्रशियातील कील या गावी मॅक्स प्लँकचा जन्म झाला. १८६७ मध्ये त्याच्या पित्याने स्थलांतर करुन म्युनिच शहरी राहायला सुरवात केली. त्यामुळे प्लँकचे प्राथमिक शिक्षण म्युनिच मध्येच झाले. १८७४ मध्ये गणित व भौतिकीशास्त्र या दोन विषयांच्या अभ्यासास सुरवात केली. या विश्वविद्यालयीन अभ्यासात त्याला पहिली तीन वर्षे प्रोफेसर जॉली याचे मार्गदर्शन लाभले. विश्वविद्यालयातील शेवटचे वर्ष मात्र त्याने बर्लिनमध्ये काढले. तेथे त्यास प्रो. हेल्महोल्टझ व प्रोफेसर किर्‌चॉफ यांच्या मार्गदर्शनाचा लाभ मिळाला. बर्लिनमध्ये असताना रुडॉल्फ क्लॉसियस यांचे उष्मागतिकशास्त्र विषयीचे संशोधन निबंध त्याच्या वाचनात आले, व त्या शास्त्राची तोंडओळख झाली. पदवी परिक्षा दिल्यानंतर उष्मागतिक शास्त्रातच संशोधन करण्याचे त्याने ठरवले व त्या शास्त्रातील संशोधनाच्या आधारावर त्याने १८७९ मध्ये बर्लिन विद्यापीठाची पीअेच्. डी. पदवी संपादन केली.

१८८० मध्ये तो म्युनिच विद्यापीठात प्रिव्हाटडोझंट म्हणून गेला. अशा-रीतीनें अध्यापन कार्याला सुरवात केल्यानंतर पाच वर्षानी कील विद्यापीठाने त्यास तात्त्विक भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. आपल्या जन्मस्थानी प्राध्यापक म्हणून जायला मिळाले यामुळे प्लँक मोठ्या आनंदाने कीलला गेला. १८८९ मध्ये किर्चॉफचा मृत्यू झाल्यानंतर बर्लिन विद्यापीठाने त्याच्या जागी प्लँकची नेमणूक केली. १८९२ मध्ये त्यास प्राध्यापकाची नेमणूक मिळाली. बर्लिन विद्यापीठात त्याने सत्तर वर्षांचा होईपर्यन्त म्हणजे १९२८ पर्यन्त अध्यापन व संशोधन केले. सत्तर वर्षांचा झाल्यानंतर तो प्राध्यापकीय जबाबदारीतून मुक्त झाला. पण त्यानंतरही त्याचे संशोधनकार्य बरीच वर्षे चालू होते.

वृद्धापकाळात त्याला बऱ्याचशा अडचणीना तोंड द्यावे लागले, व संकटाशी सामना करावा लागला. त्यामुळे होणारा मनस्ताप व त्रास त्याने शांतपणे सहन केला. १९१६ मध्ये पहिल्या जागतिक महायुद्धात त्याचा ज्येष्ठ मुलगा व्हर्डुनच्या लढाईत मृत्युमुखी पडला. त्याच्या जुळ्या मुलींपैकी अेक बाळंतपणानंतर उद्-भवलेल्या आजारात १९१७ मध्ये वारली. तिच्या नवऱ्याने आपल्या मेहुणीशी म्हणजे पत्नीच्या जुळ्या बहिणीबरोबर विवाह केला. पण तीही अेक वर्षानंतर बाळंतपणात वारली. त्याच्या धाकट्या मुलावर हिटलरविरोधी कारस्थानात भाग घेतल्याचा आरोप ठेवण्यात येऊन, त्यास १९४४ च्या जुलै महिन्यात नाझी शासनाने मृत्युदंडाची शिक्षा फर्मावली. महायुद्ध संपत आले त्यावेळी ब्रिटिश व अमेरिकन विमानानी जर्मनीच्या औद्योगिक केन्द्रावर व त्यातल्या त्यात बर्लिनवर रात्रंदिवस बॉम्बफेक केली. त्या बॉम्बफेकीत प्लँकचे राहाते घर संपूर्णपण नष्ट झाले. घराबरोबर त्याची सर्व मालमत्ता आणि अमूल्य ग्रंथसंग्रहही नष्ट झाला. आपल्या पत्नीला घेऊन तो मॅग्डेबर्ग जवळच्या प्रदेशात आश्रयार्थ गेला. तेथे पाठी हटणारे जर्मन सैन्य व पुढे धडक मारणारे ब्रिटिश व अमेरिकन सैन्य यांच्या कात्रीत तो सापडला. प्लँकची ही दारुण अवस्था अमेरिकन सैन्याच्या कानी पडली. प्लँकचे विज्ञानक्षेत्रातील स्थान ओळखून, अमेरिकन सैन्याने खास लष्करी मोटार पाठवून त्याची सुटका केली व गॉटिन्जेनमध्ये त्याच्या राहाण्याची सोय केली. तेथेच त्याचे उर्वरित आयुष्य गेले.

प्रथम श्रेणीचा, अेक अत्युत्तम भौतिकीशास्त्रज्ञ अशी त्याची किर्ती कायम राहाणार आहे. त्याच्या संशोधनामुळे भौतिकीशास्त्राचा चेहरा मोहरा पार बदलून

गेला. जगातल्या विद्वत्सभानी करायचे बहुतेक सर्व बहुमान त्याच्या वाट्यास आले. १८९४ मध्ये प्रशियन अॅकेडमी ऑफ सायन्सेस या संस्थेने त्याची सभासद म्हणून निवड केली. १९१२ मध्ये त्या अॅकेडमीचा कायम चिटणीस म्हणून त्याची नेमणूक झाली. लंडनच्या रॉयल सोसायटीने १९२६ मध्ये त्यास आपला परदेशस्थ सभासद, निवडले, आणि १९२९ मध्ये त्यास कोप्ले पदक देऊन गौरविले. १९३० मध्ये त्यास बर्लिनच्या कैसर विल्हेल्म सोसायटीचा अध्यक्ष निवडण्यात आले. प्लँकच्या कार्याचा गौरव करण्याच्या उद्देशाने, त्या सोसायटीचे नाव आता मॅक्स प्लँक सोसायटी असे ठेवण्यात आले आहे. १९४६ मध्ये लंडनच्या रॉयल सोसायटीने न्यूटन स्मृतीसमारंभ साजरा केला. त्यावेळी त्या समारंभाचा अेक प्रमुख पाहुणा या नात्याने त्याने लंडनला भेट दिली. त्याची लंडनभेट हा त्याचा परदेशातला शेवटचा प्रवास ठरला. युरोपमधल्या व अमेरिकेमधल्या बऱ्याचशा विज्ञान संस्थांचा तो माननीय सभासद होता. लंडन व अेडिनबरा याशिवाय इतरही कित्येक विद्यापीठानी त्यास माननीय पदव्या अर्पण केल्या होत्या. आकाशातल्या अेका लहानशा ग्रहाला प्लँकियाना असे नाव देण्यात आले असून, ग्रहाचे हे बारसे प्लँकच्या ऐंशीव्या वाढदिवसाच्या निमित्ताने उरकण्यात आले.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

विज्ञानास वाहून घेतलेल्या आपल्या दीर्घ आयुष्यात प्लँकने उष्मागतिक शास्त्रात सतत संशोधन केले. पीअेच्. डी. पदवीसाठी त्याने सादर केलेला संशोधनप्रबंध याच शास्त्रासंबंधी होता. तसेच प्रिव्हाटडोझंट म्हणून मान्यता मिळविण्यासाठी त्याने सादर केलेला संशोधन-निबंध याच शास्त्राविषयी होता. म्युनिचला प्राध्यापक म्हणून गेल्यानंतरच्या बारा वर्षात त्याने उष्मागतिकशास्त्रा-विषयी किती तरी संशोधन-निबंध प्रसिद्ध केले. हे सर्व संशोधन निबंध अेकत्रित 'व्होर्लेसुरोन उबेर थर्मोडायनामिक' या नावाने प्रसिद्ध झाले असून, तो त्याचा अेक विशेष मान्यता पावलेला व गाजलेला ग्रंथ आहे. त्या ग्रंथात पदार्थाची अेन्ट्रॉपी कशी वाढते यावर चार संशोधन-निबंध आहेत.

विकरणाविषयीचा विचार प्लँकने अेन्ट्रॉपी या कल्पनेच्या आधारावर केला आहे. अन्ट्रॉपी या कल्पनेचाच आधार घेऊन, आइनस्टाइनने प्रकाशविद्युत किंवा फोटो-इलेक्ट्रिक परिणामांविषयीची उपपत्ती मांडली आहे. तेव्हा अेन्ट्रॉपी ही कल्पना काय आहे हे आपण प्रथमतः समजावून घेऊ.

उष्मागतिकशास्त्राला सध्याचे प्रगत स्वरुप द्यायला क्लॉसियस या शास्त्रज्ञाचे संशोधन विशेषे करुन कारणीभूत आहे. त्यानेच उष्मागतिकशास्त्राचा दुसरा नियम पुढील शद्बात मांडला. उष्णता थंड पदार्थाकडून उष्ण पदार्थाकडे आपण होऊन जात नाही. हा नियम मांडण्यासाठी त्याने व्युत्क्रमी आणि आवर्तनी प्रक्रिया विचारात घेतली. प्रक्रियेला आवर्तनी हे विशेषण वापरण्याचे कारण वस्तूमध्ये फरक घडवून आणित, आणित वस्तू मूळस्थितीला येते म्हणून, आणि व्युत्क्रमी हे विशेषण प्रक्रियेला लावण्याचे कारण सर्वच्या सर्व आवर्तनी प्रक्रिया उलट्या क्रमाने घडवून आणता येते व वस्तू पुनः मूळस्थितीला येते.

व्युत्क्रमी प्रक्रिया घडवून आणायची असल्यास, उष्णतेचे निर्मितीस्थान आणि वस्तु यामधील उष्णता विनिमय स्थिर तपमानाला घडून आला पाहिजे, कारण अशा प्रकारच्या स्थिर तपमानाला उष्णता विनिमय घडून आला तरच उष्णताविनिमय उलट किंवा विरुद्ध दिशेने घडवून आणता येतो. परंतू अेका वस्तूकडून दुसऱ्या वस्तुकडे उष्णता जायची असल्यास त्या वस्तूंच्या तपमानामध्ये काही तरी फरक– अगदी क्षुल्लक का होईना– असायला पाहिजे. संपूर्ण व्युत्क्रमीप्रक्रिया ही अेक आदर्श प्रक्रिया आहे, आणि प्रत्यक्षात ती कधीच घडवून आणता येत नाही. त्यामुळे उष्णतेचे स्थानांतर अशा काही आदर्श व अत्यल्प प्रमाणात घडून देते की त्या स्थानांतरामुळे वस्तूच्या तपमानात फरक पडत नाही असे समजणे भाग आहे. तेव्हा dQ ही उष्णता– येथे d गुणिले Q असा dQ चा अर्थ घ्यायचा नाही. तर dQ म्हणजे d या उष्णतेचा अत्यंत अल्पसा भाग असे समजायचे आहे– उष्णतेच्या उत्पत्तीस्थानापासून वस्तूला मिळाल्यास, त्यामुळे वस्तूच्या तपमानात फरक पडणार नाही असे समजले पाहिजे. व्युत्क्रमी, आवर्तनी प्रक्रिया अशा प्रकारे घडवून आणल्यास, या प्रक्रियेत दर वेळी अेका वस्तूकडून दुसऱ्या वस्तुकडे जाणाऱ्या dQ उष्णतांची बेरीज भागिले ज्या तपमानास उष्णता अेका वस्तूकडून दुसऱ्या वस्तूस दिली जाते ते तपमान, याचे उत्तर शून्य असते असे क्लॉसियसने सिद्ध केले. क्लॉसियसचे हे म्हणणे कॅलक्यूलसच्या किंवा शून्यलब्धी–शास्त्राच्या भाषेत मांडायचे असल्यास,

$$\int \frac{dQ}{T} = 0$$

असे समीकरण मांडावे लागते. यात T म्हणजे ज्या केवळ तपमानास अका वस्तु–कडून दुसरीस उष्णता दिली जाते व दुसऱ्या वस्तूकडून ग्रहण केली जाते ते केवळ

तपमान – dq चा अर्थ या आधी सांगितला आहेच. $dq/_T$ ही संख्या ds या चिन्हाने दाखवून क्लॉसियसने त्यानंतर असे सिद्ध केले आहे की s ही संख्या वस्तूच्या तात्कालिक स्थितीवरच अवलंबून असते आणि ती स्थिती कोणती याचे मापन केल्यास s चे ही मापन होते. s या संख्येला क्लॉसियसने अेन्ट्रॉपी असे नाव दिले. अेवढे केल्यानंतर प्रत्येक अव्युत्क्रमी बदलामुळे वस्तूची अेन्ट्रॉपी वाढते व कधीही कमी होत नाही असे त्याने सिद्ध केले.

आपल्या प्रमेयाची सुरवात क्लॉसियसने व्युत्क्रमी प्रक्रियेने केली, तर प्लँकने अव्युत्क्रमी प्रक्रियेने आपल्या प्रमेयाची सुरवात केली. प्रथमत: त्याने अव्युत्क्रमी प्रक्रियेची व्याख्या मांडली. जी प्रक्रिया काही केले तरी परत उलट दिशेने घडवून आणता येत नाही ती अव्युत्क्रमी प्रक्रिया आणि इतर सर्व प्रक्रिया व्युत्क्रमी प्रक्रिया अशी व्याख्या त्याने मांडली. अव्युत्क्रमी प्रक्रिया या नैसर्गिक किंवा निसर्गत: घडून येणाऱ्या प्रक्रिया होत असे त्याने मानले. निसर्गातील कोण– त्याही सर्व साधारण प्रक्रियेमध्ये सुरवातीच्या A स्थितीत असलेली वस्तू सरते– शेवटी B या अंतीम स्थितीत येते. परंतू B स्थितीला पोचलेली वस्तू कोणत्याही प्रकारे A स्थितीला आणता येत नसेल तर A कडून B कडे जाण्याची प्रक्रिया अव्युत्क्रमी प्रक्रिया आहे. हेच म्हणणे त्याने वेगळ्या शब्दात मांडून दाखवले आहे. अव्युत्क्रमी प्रक्रियामध्ये, निसर्ग A स्थितीपेक्षा B स्थिती जास्त पसंत आहे असे दाखवतो तर व्युत्क्रमी प्रक्रियामध्ये, प्राथमिक स्थिती व अंतिम स्थिती यापैकी कोणतीच स्थिती आपल्याला जास्त पसंत आहे असे निसर्ग दाखवित नाही आणि त्यामुळे A स्थितीकडून B स्थितींकडे किंवा B स्थितीकडून A स्थितीकडे जाता येते. निसर्गाला कोणती स्थिती जास्त पसंत आहे हे ठरविण्याचे उत्तम साधन म्हणजे त्या स्थितीची संबंधित असलेली अेन्ट्रॉपी होय. १८७७ मध्ये लड्विग बोल्ट्झमनने असे दाखवले की अेखाद्या स्थितीची S ही अेन्ट्रॉपी व प्रणालीच्या रेणूंची त्या स्थितीशी अनुरुप रचना असण्याची W ही संभाव्यता यांचा संबंध

$$S = K \cdot \log W$$

या समीकरणाने दाखवता येतो. या समीकरणात K हा बोल्ट्झमन स्थिरांक आहे. बोल्ट्झमनच्या या समीकरणामुळे 'अेक विशिष्ट स्थिती निसर्ग पसंत करतो.' याचा अर्थ प्लँकने असा लावला की कमी संभाव्य स्थिती अैवजी जास्त संभाव्य स्थिती निसर्ग पसंत करतो.

ऐखाद्या प्रणालीच्या ऐन्ट्रॉपीचे मापन करण्यासाठी क्लॉसियसला व्युत्क्रमी प्रक्रिया अभ्यासावी लागत होती. पण बोल्ट्झमनच्या समीकरणामुळे, व्युत्क्रमी प्रक्रिया विचारात न घेतासुद्धा प्रणालीच्या ऐन्ट्रॉपीचे मापन करता येते असे प्लँकने दाखवून दिले.

— — — — — —

कृष्ण वस्तुमात्रविकिरणांच्या वर्णपटातील उर्जावाटणी हा प्रश्न जेव्हा प्लँकने विचारात घेतला तेव्हा त्या प्रश्नाचा विचार करताना, उष्मागतिकशास्त्राशी असलेल्या परिचयाचा त्यास खूप फायदा झाला. बर्लिन रिकसानस्टाल्टमधील लमनेर आणि ब्रिगशीम यानी व कुर्लबॉम आणि रुबेन्स यानी केलेले संशोधन वाचनात आल्यावर या विषयात आणखी संशोधन केले पाहिजे असे वाटून, १८९६ च्या सुमारास त्याने कृष्ण वस्तुमात्र विकिरणांच्या अभ्यासास सुरवात केली वीनचा विभागणी नियम त्यावेळी नुकताच प्रसिद्ध झाला होता. तो नियम शीत तपमानाला व लघू तरंगलांबीला लावता येतो असे सिद्ध झाले होते. परंतू उच्च तपमान आणि दीर्घ तरंगलांबी यांच्या बाबतीत गोळा केलेली किंवा मिळालेली माहिती वीनच्या नियमात बसत नाही असे लमनेर आणि ब्रिगशीम याना आढळून आले. रुबेन्स आणि कुर्लबॉम यानी वर्णपटाच्या रक्तपूर्व विभागाविषयी केलेल्या संशोधनात असे दिसून आले की त्या विभागातील ऊर्जा केवळ तपमानावर अव-लंबून असते. प्रयोगातून निघालेला हा निष्कर्ष, लॉर्ड रॅलेने तात्त्विकदृष्टचा विचार करुन अगोदरच मांडला होता. अशारीतीने तात्त्विक दृष्टिकोनातून मांडलेला निष्कर्ष बरोबर असल्याचे प्रयोगानी सिद्ध झाले होते.

या प्रश्नाचा विचार करताना, प्लँकने प्रथमतः पारंपारिक उष्मागतिक-शास्त्राचा उपयोग केला. त्यावेळी लॅरेन्ट्झची ऋणकण उपपत्ती बरोबर आहे की नाही याबद्दल त्याची खात्री झाली नव्हती. हर्टझने मात्र पारंपारिक विद्युत चुंबकीय उपपत्तीच्या आधारे, रेखाकृती ऑस्सिलेटरमधून उत्सर्जन होणाऱ्या विद्युतचुंबकीय विकिरणाविषयीचे नियम मांडले होते व सिद्ध केले होते. मार्कोनीच्या संशोधनाची माहिती देताना, अशा प्रकारच्या हर्टझियन ऑस्सिलेटरची आकृती दिली आहे. त्या आकृतीवरुन हर्टझियन ऑस्सिलेटर म्हणजे काय ते समजून येईल. स्थिर तपमानाला असलेल्या पात्राच्या भिंती किंवा बाजू

लहान, सूक्ष्म, प्राथमिक हर्टझियन ऑस्सिलटरच्या बनलल्या आहेत अशी प्लँकने प्रथम: कल्पना केली. या सूक्ष्म ऑस्सिलेटरच्या आंदोलनामुळे विद्युतचुंबकीय तरंगाची निर्मिती होते आणि त्या तरंगाना हर्टझियन ऑस्सिलेटरचे नियम लावता येतात असे धरुन त्याने अशी अेक कल्पना मांडली की हे प्राथमिक ऑस्सिलेटरचा किंवा आंदोलकाचा कोणत्या तरी प्रकारे, पात्राच्या भिंती ज्यापासून बनल्या आहेत त्या पदार्थाच्या अणूशी काही तरी संबंध आहे. या प्राथमिक ऑस्सिलेटरमधून विकिरण उत्सर्जन होईल, अेवढेच नाही तर त्यावर पडणाऱ्या विकिरणांना सरतेशेवटी अक स्थिरस्थिती प्राप्त होईपर्यन्त त्या विकिरणांचे ते आंदोलक रेझॉनन्समुळे किंवा संस्पंदनामुळे निवडक शोषण करतात. त्यामुळे अशा प्रकारच्या ऑस्सिलेटरना प्लँकने रेझोनेटर किंवा संस्पंदक अशी संज्ञा वापरली. कृष्णवस्तुमात्र विकिरणांच्या वर्णपटातील ऊर्जावाटणीचा प्रश्न अशा तऱ्हेने सोडवण्याचा प्लँकचा प्रयत्न यशस्वी झाला नाही. तरी त्या प्रयत्नातून असा निष्कर्ष निघाला की विकिरणांची ऊर्जा विचारात घेण्याऐवजी ऑस्सिलेटरची किंवा आंदोलकाची ऊर्जा विचारात घ्यायला हरकत नाही. हा निष्कर्ष प्लँकला पटला व आवडला. कारण त्यामुळे विकिरणांची ऊर्जा विचारात न घेता, ते विकिरण ज्यामुळे निर्माण होतात ते ऑस्सिलेटर विचारात घेणे त्याला शक्य झाले.

त्यानंतर या प्रश्नाची अुकल करण्यासाठी उष्मागतिकशास्त्र वापरुन पहावे असे प्लँकने ठरवले. त्याची कार्यपद्धती आणि तिचे प्राथमिक गणित या पुढच्या परिच्छेदात दिले आहे.

या कार्यपद्धतीची सुरवात त्याने वीनच्या सूत्रापासून केली. हे सूत्र वीनच्या कार्याच्या वर्णनात आले आहेच. वीनचे सूत्र त्याने पुढील समीकरणात मांडले.

$$U = a \cdot e^{-b/T} \qquad - - - - - - - - (1)$$

या समीकरणात U ही ऑस्सिलेटरची T तपमानाला असणारी सरासरी ऊर्जा होय. a व b हे ऑस्सिलेटरच्या बाबतीत वापरले जाणारे स्थिरांक होत. (या दोन्ही स्थिरांकांचा उत्सर्जित विकिरणांच्या λ या तरंगलांबीशी संबंध असतो, कारण वीनच्या समीकरणातील $C_1/\lambda^5 = a$ आणि $C_2/\lambda = b$ अशी a व b ची मूल्ये आहेत.) त्यानंतर रक्तपूर्व वर्णपटाच्या बाबतीत रुबेन्स आणि कुर्लबॉम यानी

मांडलेले सूत्र हे सूत्र ही दोन्ही सूत्रे अेकत्र आणावीत आणि परस्पराशी जोडून घ्यावीत असा त्याने विचार केला. त्यासाठी त्याने

$$U = cT \quad - - - - - - - - - \quad (2)$$

हे सूत्र मांडले. त्या सूत्रात c हा ऑस्सिलेटरसाठी घेतलेला स्थिरांक आहे. लघु तरंगलांबीसाठी वीनने मांडलेले सूत्र आणि दीर्घ तरंगलांबीसाठी रुबेन्स व कुर्लबॉम यांनी मांडलेले सूत्र यांचा साधारणपणे समन्वय घालू शकेल अशा तऱ्हेचे सूत्र मांडण्याचा त्याने प्रयत्न केला. हा समन्वय साधण्यासाठी, ऊर्जा अभ्यासाचे महत्व जाणून त्याने ऑस्सिलेटरची अेन्ट्रॉपी S आणि त्याची ऊर्जा U यामधला संबंध प्रस्थापित करण्याचा प्रयत्न केला. अेन्ट्रॉपीच्या अर्थात थोडा विस्तार करुन, त्याने ऑस्सिलेटरच्या S अेन्ट्रॉपीबद्दलचे समीकरण मांडले. ते समीकरण

$$ds = \frac{dU}{T}$$

असे असून त्यात T = तपमान आणि as व du हे अंक अनुक्रमे s अेन्ट्रॉपीचे व U ऊर्जेचे सूक्ष्म विभाग होत. तेव्हा

$$\frac{dS}{dU} = \frac{1}{T}$$

म्हणजे $\frac{dS}{dU}$ = S चा U च्या मानाने मिळणारा डिफरेन्शियल कोइफिशन्ट. या ds/du चे दुसऱ्यांदा डिफरंन्शिअेशन केले, तर

$$\frac{d^2S}{dU^2} = \frac{\frac{1}{T^2}}{\frac{dU}{dT}} \quad - - - - - - - - \quad (3)$$

आता जेव्हा $U = a\text{-}e^{-b/T}$, $dU = \frac{bU}{T2}$

आणि जेव्हा $U = cT$, $\frac{dU}{dT} = e$

तीन क्रमांकाच्या समीकरणात $\frac{dU}{dT}$ ची ही मूल्ये मांडल्यास, प्रथमतः

$$\frac{1}{\frac{d^2S}{dU^2}} = -bU$$

आणि नंतर

$$\frac{1}{\frac{d^2S}{dU^2}} = -\frac{U^2}{c}$$

अशी समीकरणे मिळतात.

पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर, दिलेल्या नोबेल व्याख्यानात, $\frac{1}{d^2S / dU^2}$ या संख्येला प्लँकने R या अक्षराने संबोधले आहे.

त्यानंतर प्लँकने

$$\frac{1}{\frac{a^2S}{dU^2}} = -bU - \frac{U^2}{c}$$

असे मानले व हे डिफरेन्शियल समीकरण सोडवले तेव्हा

$$\frac{dS}{dU} = \frac{1}{b} \log\left(1+\frac{bc}{U}\right)$$

परंतू अेन्ट्रॉपीच्या व्याख्येप्रमाणे

$$\frac{dS}{dU} = \frac{1}{T}$$

म्हणून $\frac{1}{T} = \frac{1}{b} \log\left[1+\frac{be}{U}\right]$

आणि त्यानंतर थोडीशी

आकडेमोड करून त्याने

$$U = \frac{bc}{e^{b/T} - 1}$$

समीकरण मांडले.

प्लँकच्या प्रसिद्ध विकिरण सूत्राचे हे मूळ स्वरुप असून, ते जर्मन फिझिकल सोसायटीच्या प्रोसिडिंग्जच्या १९०७ सालच्या ऑक्टोबरच्या अंकात दिले आहे.

येथपर्यंत प्लँकने ऑस्सिलेटरच्या U ऊर्जेचाच फक्त विचार केला. ऑस्सि-लेटरच्या U ऊर्जेऐवजी उत्सर्जित विकिरणांच्या E_λ ऊर्जेचा विचार करायचा असल्यास, b व c हे स्थिरांक विकिरणांच्या तरंगलांबीमध्ये मांडले पाहिजेत. (अंतिम उत्तरात a या स्थिरांकाचा संबंध येत नसल्याने त्याबद्दल विचार केला नाही तरी चालेल.) आता वीनच्या मताप्रमाणे b चे मूल्य $1/\lambda$ च्या प्रमाणात आहे व C चे मूल्य $1/\lambda^4$ च्या प्रमाणात आहे. म्हणून

$$E_\lambda = \frac{A}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{B/(\lambda T)}-1}$$

या समीकरणात A व B हे स्थिरांक असून B हा वीनच्या समीकरणातील C_2 बरोबर आहे. λT चे मूल्य अत्यल्प असताना वीनचे सूत्र लागू पडते, किंवा लावता येते. त्यावेळी $e^{B/(\lambda T)}$ चे मूल्य अेकाच्या मानाने खूप मोठे असते. म्हणून

$$E_\lambda = \frac{A}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{B/(\lambda T)}}$$ असे समीकरण मिळते.

हे समीकरण म्हणजे वीनने मांडलेलेच समीकरण आहे. फक्त वीनच्या समी-करणातील C_1 अैवजी यात A आहे, आणि वीनच्या C_2 अैवजी यात B आहे. परंतु λT चे मूल्य खूप मोठे असल्यास, $B/\lambda T$ चे मूल्य खूप अल्प होते. त्यामुळे $e^{B/(\lambda T)}$ चे मूल्य $1 + \frac{B}{\lambda T}$ च्या जवळपास येते. प्लँकचे सूत्र त्यामुळे

$$E\lambda = \frac{A}{\lambda^5}\frac{1}{\frac{B}{\lambda T}}$$

$$= \frac{A}{B}\frac{T}{\lambda^4}$$ असे होते.

हे सूत्र रुबेन्स आणि कुर्लबॉम यांच्या प्रयोगाना लावता येते. हेच सूत्र लॉर्ड रॅलेने पारंपारिक गतीशास्त्राच्या आधारे, साधारण याच सुमारास काढले आहे.

- - - - -

λT च्या अल्प मूल्यांच्या बाबतीत लागू पडणारे सूत्र आणि λT च्या भरपूर मोठ्या मूल्यांच्या बाबतीत लागू पडणारे सूत्र या दोहोंचा समन्वय घालून, λT च्या अल्प व मोठ्या अशा दोन्ही प्रकारच्या मूल्याना लावता येईल अशा प्रकाराचे सूत्र शोधून काढण्यात प्लँकने आपली प्रतिभा फार उत्तम प्रकारे प्रगट केली. दोन भिन्न सूत्रे घेऊन त्यांच्यावर अेन्ट्रॉपीच्या कल्पनेच्या दृष्टि-कोनातून आकडेमोड करीत करीत त्याने शेवटी अेक सूत्र तयार केले. परंतु विकिरणनिर्मिती प्रक्रियेमध्ये अंतर्भूत असलेल्या भौतिकी तत्त्वापासून सुरवात करुन, विकिरण नियम अचूक मांडल्याशिवाय प्लँकसारख्या गणिततज्ञाचे समाधान होत नव्हते. हे करण्यातही म्हणजे अशाप्रकारे विकिरणनिर्मितीचे सूत्र काढण्यातही तो यशस्वी झाला. परंतू त्यासाठी ऊर्जेसंबंधी तोपर्यन्त मान्य असलेल्या कल्पनाहून अगदी वेगळ्या प्रकारचे तत्त्व त्याला आधारतत्त्व म्हणून घ्यावे लागले. विकिरण नियम मांडण्याच्या प्रयत्नातील हा दुसरा टप्पा आपल्याला जर्मन फिझिकल सोसायटीच्या प्रोसिडिंग्ज या नियतकालिकाच्या १९०० डिसेंबरच्या अंकात पाहा-यला मिळतो. हाच संशोधननिबंध थोडयाशा वेगळ्या स्वरुपात अॅनालेन डेर फिजिक या नियतकालिकाच्या १९०१ मार्चच्या अंकात प्रसिद्ध झालेला आहे. प्लँकच्या संशोधनाची माहिती अॅनालेन डेर फिझिक नियतकालिकातल्या संशोधन निबंधाच्या आधारे दिली आहे. प्लँकचे हे संशोधन समजण्यासाठी गणिताची समज असणे अवश्य आहे.

रेझॉनन्सची किंवा संस्पंदनाची अेन्ट्रॉपी त्याच्या ऊर्जेवर अवलंबून असते या कल्पनेला धरुन प्लँकने गणित मांडायला सुरवात केली आहे.

N रेझोनेटर किंवा संस्पंदक असलेल्या प्रणालीच्या S_n या अेन्ट्रॉपीचा, प्रणा-लीस्थितीच्या W या संभाव्यतेशी असलेला संबंध बोल्ट्झमनच्या सूत्राने दाखवला जातो. ते सूत्र, $S_n = K \log W$ असे आहे.

N संस्पंदकांची अेकत्रित ऊर्जा V_n आहे असे समजू या. या अेकत्रित ऊर्जेची या n संस्पंदकामध्ये काही विशिष्ट वाटणी असण्याची W ही संभाव्यता प्लँकला काढायची होती. हे काढण्यासाठी, किती प्रकारे या N संस्पंदकामध्ये या अेकत्रित ऊर्जेची वाटणी करता येणे शक्य आहे हे त्याला काढावे लागले.

जर प्रत्येक कपातले पाणी त्याच त्या पात्रात ओतायचे असे असल्यास, दहा कप पाण्याची चार भिन्न पात्रात कशी वाटणी करायची हे काढायला फारशी अडचण पडत नाही. उदाहरणार्थ पहिल्या पात्रात तीन कप पाणी, दुसऱ्या पात्रात दोन कप,तिसऱ्यात अेक कप आणि चवथ्यात चार कप पाणी अशी वाटणी करायची असे ठरवल्यास,ही वाटणी दोनशं शहाअैंशी (२८६) प्रकारे करता येईल असे उत्तर येते परंतु प्रत्येक कपातले पाणी पात्रातवाटून देता येते असे असल्यास पाण्याच्या वाटणीचा प्रश्न सोडवता येत नाही इतका अतिशय अवघड होऊन बसतो; किंवा जितक्या प्रकारे पाण्याची वाटणी करता येणे शक्य आहे त्या प्रकारांची संख्या अनंतापर्यंत जाते. ऊर्जेसंबंधी ज्या सर्वसाधारण कल्पना आहेत त्या कल्पनाप्रमाणे, U_n ही अेकत्रित ऊर्जा N संस्पंदकामध्ये वाटून देण्याचा प्रश्न दहा कपातले पाणी चार पात्रात कितीही किंवा कोणत्याही प्रमाणात ओतून देण्याच्या प्रश्नासारखा आहे.परंतु प्लँकने त्या प्रश्नाचे स्वरुप बदलून, पात्रात कप भरुन पाणी देण्याच्या प्रश्नासारख केले. म्हणजे कपातले पाणी पात्रात वाटून द्यायचे नसल्यास, वाटणीच्या प्रश्नाचे स्वरुप साधे होते आणि वाटणी प्रकारांची संख्या काढता येते. त्याप्रमाणे प्लँकने ऊर्जावाटणीच्या प्रश्नाचे स्वरुप साधे केले. P_n ही अेकत्रित किंवा अेकंदर ऊर्ज. प्रत्येकी e ऊर्जा असणाऱ्या P ऊर्जा खंडाबरोबर आहे व P हा पूर्णांक आहे असे धरुन त्याने गणित मांडले, तेव्हा $P_n = Pe$. ही P ऊर्जाखंड e च्या पूर्णांक गुणकाच्या प्रमाणात N संस्पंदकात वाटली गेली आहेत. उदाहरणादाखल दहा संस्पंदकात वाटल्या गेलेल्या शंभर ऊर्जाखंडांचा प्लँकने विचार केला आहे. दहा संस्पंदकात ही वाटणी ७ e, ३८ e, ११ e, ०, ९ e, २ e, २० e, ४ e, ५ e, ४ e अशी किंवा भिन्न भिन्न प्रकारे होऊ शकेल. फक्त दहा संस्पंदकामध्ये शंभर e ची वाटणी करायची असे म्हटले तरी वाटणीप्रकारांची संख्या खूप मोठी येते.

येथे हेही नमूद करणे जरुर आहे की प्लँकने आपण मांडलेले व मान्य केलेले आधारतत्व अत्यंत महत्त्वाचे आहे असे प्रतिपादन केलेले नाही. सोडवता न येण्यासारख्या प्रश्नाला सोडवता येण्यासारखे स्वरुप देण्यासाठी त्याने अेक युक्ती योजली आहे. e ही ऊर्जा अत्यंत सूक्ष्म असली तरी ती ठराविक व मोजता येण्यासारखी आहे. म्हणून ती निराळी व स्वतंत्र संख्या धरायला हरकत नाही. ती जणूकाय अेक थेंबभर पाण्यासारखी आहे. पात्रामध्ये पाणी वाटले त्यावेळी ते वाटेल तसे वाटले नाही, तर ठराविक आकाराच्या थेंबाच्या प्रमाणात वाटलेले आहे असे धरून ती वाटणी किती प्रकारे होईल, त्या प्रकारांची संख्या काढण्यासारखा हा प्रकार आहे. पाण्याच्या वाटणीच्या बाबतीत किंवा ऊर्जावाटणीच्या बाबतीत वाटणीप्रकारांची संख्या बऱ्याचशा अचूकतेने पुढील समीकरणाने मिळते.

$$\text{वाटणी प्रकारांची संख्या} = \frac{(N+P)^{N+P}}{N^{N} \times P^{P}}$$

या समीकरणात N व P यांची मूल्ये प्लँकने दिली ती आहेत. म्हणजे N = संस्पंदकसंख्या आणि P ≐ ऊर्जाखंड संख्या. परंतू N व P यापैकी अेकाचे किंवा दोहोंचीही मूल्ये खूप मोठी असतानाच सूत्र बरोबर आहे असे म्हणता येते. प्लँकने जो प्रश्न विचारात घेतला आहे, त्यामध्ये अशीच परिस्थिती आहे. कारण N ही संस्पंदकांची संख्या आहे व ती विकरण उत्सर्जित करणाऱ्या पदार्थातील अणुंच्या संख्येने ठरत असल्याने तिचे मूल्य खूप मोठे आहे. त्याप्रमाणे P ही संख्याही फार मोठी आहे. कारण e अत्यंत सूक्ष्म आहे. त्यानंतर वाटणी प्रकारांची संख्या हे प्रणालीच्या संभाव्यतेच्या मापनाचे साधन आहे असे धरुन, प्लँकने अेन्ट्रॉपीचे समीकरण मांडले आहे.

$$Sn = K \text{ gol } W = K \log \frac{(N+P)^{N+P}}{N^{p}+P}$$

म्हणून $Sn = K [(N+P) \log (N+P) - N \log N - P \log P]$
या समीकरणातून P ही संख्या काढून टाकायची आहे. त्यासाठी प्लँकने पुढील क्लृप्ती वापरली आहे. अेका संस्पंदकाची सरासरी ऊर्जा U असल्यास,

$$U_n = UN$$

आणि $$Pe = U_n = UN$$

तेव्हा $$P = \frac{UN}{e}$$

म्हणून

$$S_N = k \left[\left(N + \frac{UN}{e}\right) \log \left(N + \frac{UN}{e}\right) - N \log N - \frac{UN}{e} \log \frac{UN}{e} \right]$$

$$= kN \left[1 + \frac{U}{e}\right) \log N \left(1 + \frac{U}{e}\right) - \log N - \frac{U}{e} \log \frac{NU}{e} \right]$$

कारण log N असणारी सर्व पदे समीकरणातून काढून टाकली आहेत. म्हणून अेका संस्पंदकाची S ही अेन्ट्रॉपी.

$$S = k \left[\left(1 + \frac{U}{e}\right) \log \left(1 + \frac{U}{e}\right) - \frac{U}{e} \log \frac{U}{e} \right]$$

या समीकरणाने मिळते.

येथपर्यंत आल्यानंतर प्लॅंकने वीनचा विस्थापन नियम विचारात घेतला आहे. तो नियम

λT = स्थिरांक, असा आहे.

अेन्ट्रॉपीची व्याख्या व हा नियम यावरुन पुढील सूत्र मिळते.

$$\frac{dS}{dU} = \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{\text{स्थिरांक}}$$

संस्पदकाच्या v या वारंवारतेत हे समीकरण मांडल्यास,, $\lambda V = C$ = प्रकाशाचा वेग असे असल्याने

$$\frac{dS}{dU} = \frac{C}{v \text{ X स्थिरांक}}$$

म्हणून $dS = \frac{c - dU}{vX \text{ स्थिरांक}}$

तेव्हा S ही अेन्ट्रापी U/V याचेच फक्त कार्य आहे. हाच आशय वेगळच्या शब्दात मांडायचा असल्यास, S चे मूल्य सांगणाऱ्या समीकरणात फक्त U/V व स्थिरांक याच संख्या आल्या पाहिजेत. या विचारात बसण्यासाठी किंवा याप्रमाणे विचार करण्यासाठी प्लँकने $C = hv$ असे समीकरण मांडले. यात h हा स्थिरांक आहे. म्हणून

$$S = k \left[\left(1 + \frac{U}{hv}\right) \log \left(1 + \frac{U}{hv}\right) - \frac{U}{hv} \log \frac{U}{hv} \right]$$

या S च्या मूल्याचे v च्या हिशेबी डिफरंसिअेशन केले तर,

$$\frac{1}{T} = \frac{dS}{dU} = \frac{k}{hv} \log \left(1 + \frac{hv}{U}\right)$$

म्हणून $\frac{hv}{kT} = \log\left(1 + \frac{hv}{U}\right)$

किंवा $\left(1 + \frac{hv}{U}\right) = e^{hv/kT}$

म्हणून $U = \frac{hv}{e^{hv}} / \overline{kT - 1}$

सस्पंदकाच्या S या ऊर्जेकडून उत्सर्जित विकिरणांच्या U या ऊर्जेकडे जाण्यासठी प्लँकने या अगोदरच मिळविलेल्या अेका समीकरणाचा उपयोग केला. ते समीकरण

$$udv = \frac{8\pi T}{c} \cdot \frac{v^2}{c^2} \, Udv$$

असे आहे. यात c = प्रकाशाचा वेग. v ते v+dv या सीमेत किंवा कक्षेत u ही विकिरण ऊर्जेची अवकाश घनता अशी व्याख्या आहे. हे समीकरण U चे मूल्य काढण्यासाठी वापरल्यास,

$$udv = \frac{8 \pi v^3 h}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{hv/(kT)} - 1} \cdot dv$$

असे समीकरण मिळते. हेच समीकरण मांडण्यासाठी λ तरंगलांबी वापरायची असल्यास, $v = c/\lambda$. हे सूत्र वापरले पाहिजे. λ तरंगलांबी वापरून मांडलेल्या समीकरणाचे डिफरंसिअेशन केल्यास, पुढील समीकरण मिळते.

$$dv = \frac{c}{\lambda^2} \cdot d\lambda$$

म्हणून λ ते λ + dλ या तरंगलांबीच्या मर्यादित विकिरण ऊर्जेसाठी आपल्याला खालील समीकरण मिळते.

$$E\lambda \cdot d\lambda = \frac{8 \pi ch}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/(k\lambda T)} - 1} \, d\lambda$$

किंवा प्लँकने आपल्या संशोधन निबंधात म्हटल्याप्रमाणे –

$$E = \frac{8 \pi ch}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/(k\lambda T)} - 1}$$

हे सूत्र या अगोदरच मिळाले असून, त्या $A = 8 \pi ch$ आणि $B = ch/k$ अशी मूल्ये आहेत.

कुर्लबॉम याने मिळविलेली प्रायोगिक माहिती आणि लमर व ब्रिगशीम यानी मिळवलेली प्रायोगिक माहिती यांचा योग्य तो उपयोग करुन, प्लँकने h व k या दोहोंचीही मूल्ये काढली. ती मूल्ये $h = 6.55 \times 10^{-27}$ अर्ग सेकंड

$k = 1.346 \times 10^{-24}$ अर्ग दर सेन्टीग्रेड अंशाला

त्यानंतर ठरवण्यात आलेली h व k यांची मूल्ये अनुक्रमे $h = 6.622 \times 10^{-27}$ अर्ग सेकंड आणि $k = 2.381 \times 10^{-28}$ अर्ग दर सेन्टीग्रेडला अशी आहेत.

नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर प्लँकने जर्मन भाषेत दिलेल्या व्याख्यानातील काही भागाचा अनुवाद पुढे दिला आहे.

काही ठराविक हेतू मनात धरुन अेखादा प्रश्न सोडवायला घेतला तर अेखादी उपपत्ती किंवा आधारतत्व मान्य करण्यावाचून गत्यंतर नसते. अशा प्रकारे अेखादी उपपत्ती मान्य केली तरी तिच्या सहाय्याने हाती घेतलेला प्रश्न सोडवता येईलच अशी खात्री नसते. परंतू हाती घेतलेला प्रश्न सोडविण्यात अपयश आले तरी त्यामुळे हाती घेतलेल्या प्रश्नाचे महत्व कमी होत नाही.

विकिरणांच्या नेहमी मिळणाऱ्या वर्णपटात ऊर्जावाटणी कशी झालेली असते ते शोधून काढावे हे उद्दिष्ट बरेच दिवस माझ्या डोळ्यासमोर होते. विकिरण उत्सर्जन करणाऱ्या आणि विकिरण शोषण करणाऱ्या अेका स्थिर तप–मानाला असणाऱ्या वस्तूनी ज्या अवकाशाच्या सीमा ठरतात, त्या अवकाशात निर्माण झालेल्या उष्णताविकिरणांचे स्वभावधर्म किंवा स्वरुप त्या अवकाशाच्या सीमा ठरवणाऱ्या वस्तूच्या गुणधर्मावर अवलंबून राहात नाही असे गुस्टॉव्ह किर्चॉफ याने सिद्ध केले आहे. त्यानंतर असे सिद्ध झाले आहे की तपमान व तरंगलांबी यावरच अवलंबून असणारे अेक सार्वत्रिक कार्य आहे, असे सिद्ध झालेले आहे.या सार्वत्रिक कार्याचा कोणत्याही पदार्थाच्या विशिष्ट गुणधर्माशी संबंध नाही. ते तशा प्रकारच्या कोणत्याही गुणधर्मावर अवलंबून नाही. अशा प्रकारच्या आश्चर्यकारक कार्याच्या शोधामुळे तपमान आणि ऊर्जा या मधील संबंध शोधून काढणे हे उष्मागतिकशास्त्राचे व त्यामुळे रेणुविषयक भौतिकीशास्त्राचे प्रमुख उद्दिष्ट आहे. निसर्गात असणाऱ्या विविध वस्तूतून तिची उत्सर्जन शक्ती व शोषण शक्ती माहीत आहे अशी वस्तू निवडून, त्या वस्तूचा ऊर्जाविनिमय स्थिर पातळीवर असताना, त्या वस्तूतून होणाऱ्या उष्णता–विकिरणांचे स्वभाव कार्य ठरविणे हा अेकच मार्ग वर्णिलेल्या सार्वत्रिक कार्याची माहिती मिळवण्यासाठी उपलब्ध आहे. किर्चॉफच्या नियमाप्रमाणे अशा वस्तूचा ऊर्जाविनिमय वस्तूच्या गुणधर्मावर अवलंबून नाही.

अशा प्रकारचा अभ्यास करण्यासाठी, हिन्रिच हर्टझचा ऑस्सिलेटर अेक उत्कृष्ट साधन ठरेल असे मला वाटले. अशा प्रकारच्या ऑस्सिलेटरमधून अेका विशिष्ट वारंवारतेच्या उत्सर्जनाविषयीचे नियम हर्टझने नुकतेच सिद्ध केले होते

त्यानंतर झालेल्या प्रदीर्घ संशोधनामुळे, संस्पंदकाची ऊर्जा आणि त्या भोव-तालच्या अवकाशातल्या वर्णपटातील तत्संबंधित विभागाची विकिरण-ऊर्जा यामधील सर्वसाधारण संबंध प्रस्थापित झाले. त्या संबंधातील महत्वाची गोष्ट अशी की हा परस्परसंबंध संस्पंदकाच्या गुणधर्मावर अवलंबून नाही व तो त्या संस्पंदकाच्या ऊर्जा कमी करण्याच्या गुणकावर अजिबात अवलंबून नाही. त्यामुळे या सर्व प्रश्नाचे स्वरुप जास्त सोपे झाले. विकिरणांच्या ऊर्जेऐवजी संस्पंदकाच्या ऊर्जेचा विचार केला म्हणजे काम भागत होते. तशा पद्धतीने विचार केल्यानंतर, हाती घेतलेल्या प्रश्नाविषयीचा प्राथमिक विचार पुरा झाला.

- - - - -

उष्मागतिकशास्त्राबरोबर माझा विशेष परिचय असल्याने, त्या शास्त्राच्या दृष्टीकोनातून या प्रश्नाचा विचार करावा हा ऐवढाच मार्ग मला उपलब्ध होता. उष्मागतिकशास्त्राच्या दुसऱ्या नियमाविषयी मी केलेले संशोधन, मला या कामी विशेष उपयोगी पडले. संस्पंदकाच्या तपमानाऐवजी त्याच्या ऍन्ट्रॉपीचा संबंध ऊर्जेशी जोडावा असे माझ्या मनात आले. संस्पंदकाच्या ऍन्ट्रॉपीच्या ऊर्जा–संबंधित द्वितीय डिफरंशियल गुणकाचा संबंध मी ऊर्जेशी जोडला. कारण संस्पंदक व विकिरण यामधील ऊर्जाविनिमयाचे अव्युत्क्रमत्वाला त्यामुळे ऐक वेगळा भौतिकी अर्थ प्राप्त झाला. १८९९ मध्ये डब्ल्यु. वीन याने ऊर्जावाटणीचा नियम शोधून काढला होता. तो हॅनोव्हर होशुलच्या ऍम्. पाश्चेनने आणि शार्लटनबर्ग-मधील रिकसानस्टाल्टच्या ओ. लमर आणि इ. प्रिंगशीम यानी प्रायोगिकरीत्या सिद्ध केला. विकिरणांची प्रखरता तपमानाचे ऐक्सपोनेन्शियल कार्य आहे असे हा नियम सांगतो. संस्पंदकाची ऍन्ट्रॉपी आणि ऊर्जा यामधला संबंध ठरवण्यासाठी हा नियम वापरला तर अशी आश्चर्यकारक माहिती मिळते की वर नमूद केलेल्या डिफरंशियल गुणकाचा रेसिप्रोकल म्हणजे ऐक भागिले डिफरंशियल गुणक = R हा ऊर्जेच्या प्रमाणात असतो. हा अत्यंत साधा व सोपा संबंध वीनच्या ऊर्जा–वाटणीच्या नियमातून निघतो.

हा सर्व प्रश्न निसर्गाच्या ऐका सार्वत्रिक नियमाशी संबंधित आहे. त्यावेळी मला असे वाटत होते व आताही तसेच वाटते की निसर्गाचा नियम जितका साधा असतो त्याहून त्याचे स्वरूप जास्त साधे असते. म्हणून बरेच दिवस मी वर सांगि-

तलेल्या या संबंधाविषयी विचार करीत होतो. सरते शेवटी मी असे ठरविले की, वर निर्देशिलेला R ऊर्जेच्या प्रमाणात असतो, तोच R ऊर्जावाटणीच्या नियमाचा मुख्य आधार समजला पाहिजे. म्हणजे ऊर्जा वाटणीचा नियम या R वरच आधारायला पाहिजे. परंतू यानंतर केलेल्या संशोधनाने ही कल्पना बरोबर नाही असे ठरले. ऊर्जेच्या अल्प मूल्यांच्या बाबतीत म्हणजे सूक्ष्म तरंगलांबीना वीनचा नियम लावता येतो असे सिद्ध झाले असले तरी दीर्घ तरंगलांबीच्या बाबतीत वीनचा नियम लावता येत नाही, किंवा वीनच्या नियमाप्रमाणे केलेल्या अपेक्षा प्रत्यक्षात पुऱ्या होत नाहीत. असे लमर आणि प्रिंगशीम यांच्या संशोधनाने समजून आले. सरतेशेवटी अेच्. रुबेन्स आणि पी. कुर्लबॉम यांनी फ्ल्युओरस्पार किंवा रॉक सॉल्ट यांच्या स्फटिकातून रक्तपूर्व किरण धाडून, अेका वेगळ्याच नियमाचा शोध लावला. हा नियम काही ठराविक परिस्थितीमध्ये अत्यंत साधा आहे. या नव्या नियमाप्रमाणे R, ऊर्जेच्या प्रमाणात नाही तर ·ऊर्जावर्गाच्या (ऊर्जा^{2}च्या) प्रमाणात आहे. ऊर्जा व तरंगलांबी वाढत गेल्यास, हा परस्परसंबंध अधिक प्रमा– णात बरोबर असल्याचे दिसते.

अशा रीतीने प्रत्यक्ष प्रयोगानी R च्या दोन मर्यादा ठरल्या. ऊर्जा अत्यंत अल्पअसताना, R ऊर्जेच्या प्रमाणात असतो, व ऊर्जेचे मूल्य वाढल्यास R ऊर्जा– वर्गाच्या प्रमाणात असतो. ऊर्जेच्या प्रमाणात असणारी अेक संख्या आणि ऊर्जा– वर्गाच्या प्रमाणात असणारी दुसरी संख्या यांची बेरीज करणे, अेवढेच कार्य केल्यास, त्या बेरजेतील पहिले पद अल्प ऊर्जेच्या बाबतीत प्रभावी ठरते व दुसरे पद बृहद् ऊर्जेच्या बाबतीत प्रभावी ठरते. हे केल्याने विकिरण वाटणीचे अेक नवीन सूत्र मिळते. हे सूत्र अजूनपर्यंत केलेल्या प्रयोगाना लावता येते असू दिसून आले आहे.

बोल्ट्झमनच्या मताने अेन्ट्रॉपी हे भौतिकी संभाव्यतेचे अेक माप आहे.संस्पंदक प्रणालीतील एका ठराविक ऊर्जा वाटणीची भौतिकी संभाव्यता गणिताने काढण्या– साठी, अेक साधी व सोपी पद्धत लवकरच बसविण्यात आली. विकिरण उपपत्तीने अेन्ट्रॉपीचे जे मूल्ये मिळते, तेच मूल्य या नव्या पद्धतीने सुद्धा मिळते.

संभाव्यता पद्धतीने गणित करण्यासाठी दोन सार्वत्रिक स्थिरांक लागतात. यातील प्रत्येक स्थिरांकाला स्वतंत्र भौतिकी अर्थ असला पाहिजे. यापैकी पहिला स्थिरांक तपमानाच्या व्याख्येवर अवलंबून असून तो जवळ -जवळ औपपत्तिक स्वरुपाचा आहे.

विकिरण सूत्रातील दुसऱ्या स्थिरांकाचा अर्थ लावण्याचे काम जास्त त्रासदायक व अडचणीचे होते. ऊर्जा गुणिले काळ याचा गुणाकार त्या स्थिरांकाने दाखवायचा असल्याने मी प्रथमतः त्याला कृतीचे प्राथमिक क्वांटम असे नाव दिले. प्रथमतः केलेल्या गणिताप्रमाणे त्याचे मूल्य ६.५५X१०–२७ अर्ग (दर सेकंदास) असे आले. अेन्ट्रॉपीचा बरोबर अर्थ लावण्यासाठी हा स्थिरांक जरी अत्यत अवश्य होता तरी पारंपारिक उपपत्तीच्या चौकटीत त्या स्थिरांकाला बसवण्याचे प्रयत्न अत्यंत बोजड व जवळ जवळ अशक्य ठरले. खूप मोठ्या ऊर्जांच्या बाबतीत किंवा दीर्घ· आवर्तनांच्या बाबतीत या स्थिरांकाचे मूल्य अत्यंत अल्प आहे, असे समजता येत होते. स्थिरांकाचे मूल्य अत्यंत अल्प असताना सर्व गोष्टी कशा ठाकठिक बसायच्या परंतू आंदोलने जास्त जलद व कमी मजबुतीची होऊ लागल्यावर या सूत्राप्रमाणे मांडलेले गणित आणि प्रत्यक्ष परिस्थिती यामधला फरक वाढत जायचा. हा फरक काढून टाकण्यासाठी केलेले सर्व प्रयत्न फसल्याने कृतीचे क्वांटम ही अेक काल्प–निक संख्या आहे किंवा विकिरण सूत्राची मांडणी प्रत्यक्ष भौतिकी सत्यावर आधा-रली आहे असे निष्कर्ष निघत होते. पहिला निष्कर्ष खरा असल्यास, विकिरण सूत्रांची सर्व मांडणी आभासात्मक किंवा भ्रामक असून, ती गणिती चिन्हांच्या सहाय्याने केलेली आकडेमोडीची जादू आहे. असे ठरत होते. दुसरा निष्कर्ष बरो–बर असल्यास, कृतीचे क्वांटम ही संख्या भौतिकीशास्त्रात मूलभूत स्वरूपाची ठरा–यला पाहिजे. अँकिवात नसलेल्या या नवीन कल्पनेमुळे, आमच्या कित्येक कल्पना अगदी पायापासून बदलणे जरूर आहे. कारणभूत संबंधामध्ये सातत्य असते या आधारतत्त्वावर लिबनिट्झ आणि न्यूटन यानी इन्फिनिटेसिमल कॅल्क्युलस शास्त्राची अुभारणी केली, व शोध लावला त्या वेळेपासून त्या सर्व कल्पना भौतिकीशास्त्रात ठाम होऊन बसल्या आहेत.

वर निर्देशिलेल्या दोन निष्कर्षापैकी दुसरा निष्कर्ष स्विकारावा असे अनु–भवाने ठरले. हा निर्णय इतक्या लवकर लागला व तो इतका संशयातीत आहे याचे कारण उष्णताविकिरणांच्या बाबतीत ऊर्जा वाटणीचा नियम लागू पडतो की नाही हे ठरविण्यासाठी केलेले प्रयत्न नाही किंवा मी ज्या पद्धतीने त्या नियमाची मांडणी केली हे नाही, तर आपल्या संशोधनात ज्या संशोधकानी कृतीचे क्वांटम या कल्पनेचा वापर करून ती कल्पना वापरता येते व अुपयुक्त आहे हे सिद्ध केले; त्या शास्त्रज्ञांच्या अविरत परिश्रमात आहे.

संशोधनाचे परिणाम

प्लँकने विकिरणाविषयी मांडलेले सूत्र सर्व प्रकारच्या तरंगलांबीना व तप-मानाना लावता येते, हे आता सिद्ध झाल्याने, त्या गणिती सूत्राची मांडणी हे प्लँकचे उत्कृष्ट प्रकारचे संशोधन म्हणण्यात येते. हे गणिती सूत्र मांडण्यासाठी जी आधारतत्वे ग्राह्य समजण्यात आली ती आधारतत्वे त्या गणिती सूत्राच्या मांडणीहूनही जांस्त महत्वाची आहेत. रेझोनेटरमधून किंवा संस्पंदकामधून उत्सर्जन होणारी किंवा संस्पंदकाकडून शोषण होणारी ऊर्जा, ऊर्जेची अेकके एकत्र येण्याने मिळत असते आणि ऊर्जेचे अेकक, स्थिरांक गुणिले स्पंदनांची किंवा लहरींची वारंवारता या बरोबर असते. या आधारतत्वामुळे ऊर्जाविषयींच्या विचारात क्रांती झाली. या आधारतत्वामुळे ऊर्जेला अेक प्रकारचे अधिक स्वरुप प्राप्त झाले. शक्य असलेल्या असंख्य वारंवारतेपैकी प्रत्येकीचा ऊर्जा-अणूशी संबंध जोडला गेला म्हणजेलह रींची किंवा तरंगांची v ही वारंवारता असल्यास तिच्याशी संबंधित ऊर्जा-अणू hv इतका असतो असे झाले. म्हणजे v ही वारंवारता असताना अेकाकडून दुसऱ्यात ऊर्जा दिली गेली तर ती ऊर्जा hv या ऊर्जा अेककांच्या पूर्णांक संख्येत सांगता येते.

ऊर्जेसंबंधी प्लँकने मांडलेली ही क्रांतीकारक कल्पना लगेच मान्य झाली नाही. प्लँकची कल्पना ग्राह्य केली पाहिजे हे प्रथमतः आइनस्टाइनने ओळखले. ऊर्जा क्वांटमची कल्पना मान्य करुन व आधारभूत धरुन गणित केल्यास, उष्णते-विषयीचे प्रश्न इतकेच नाही तर विकिरणाविषयीचे विविध प्रश्न आणि विशेषतः प्रकाश-वैद्युती परिणाम यांची समीकरणे देता येतात असे त्याने १९०५ साली दाखवले. त्यानंतर अेका स्थिर स्थितीतून दुसऱ्या स्थिर स्थितीत होणाऱ्या परिवर्तनाविषयीच्या बोरच्या कल्पनेच्या आधारे, प्लँकचे विकिरण सूत्र जास्त सुलभतेने व सौकर्याने मांडता येते असे आइनस्टाइनने दाखवले. त्यानंतर अणुरचनेची ऋणकण उपपत्ती मांडताना, बोरने १९१३ मध्ये प्लँकच्या क्वांटम उपपत्तीचा समावेश आपल्या उपपत्तीत केला आणि अणूतून उत्सर्जन होणाऱ्या वर्णपटरेषांचे परिमाणात्मक स्पष्टीकरण दिले. त्यानंतर प्लँकचा कृती-क्वांटम किंवा नेहमी h या अक्षराने दाखविला जाणारा

क्वांटम हा भौतिकीशास्त्रात वापरल्या जाणाऱ्या स्थिरांकापैकी अगदी मूलभूत स्वरुपाचा स्थिरांक म्हणून मान्य झाला आहे. इतकेच नाही तर भौतिकीशास्त्राच्या औपपत्तिक प्रगतीस त्याने मोठा हातभार लावला आहे. प्लँकनंतरच्या नोबेल पारितोषिक विजेत्यांच्या संशोधनाचे वर्णन देताना, या स्थिरांकाचा पुन्हा पुन्हा उल्लेख करावा लागणार आहे.



१९१९

जोहानेस स्टार्क

(१८७४ -   )

" कॅनाल किरणावर होणारा डॉपलर परिणाम आणि वेद्युती क्षेत्रामुळे वर्णपटातील रेषांचे दुभंगणे किंवा विघटित होणे यांच्या शोधाबद्दल नोबेल पारितोषिक "

चरित्र

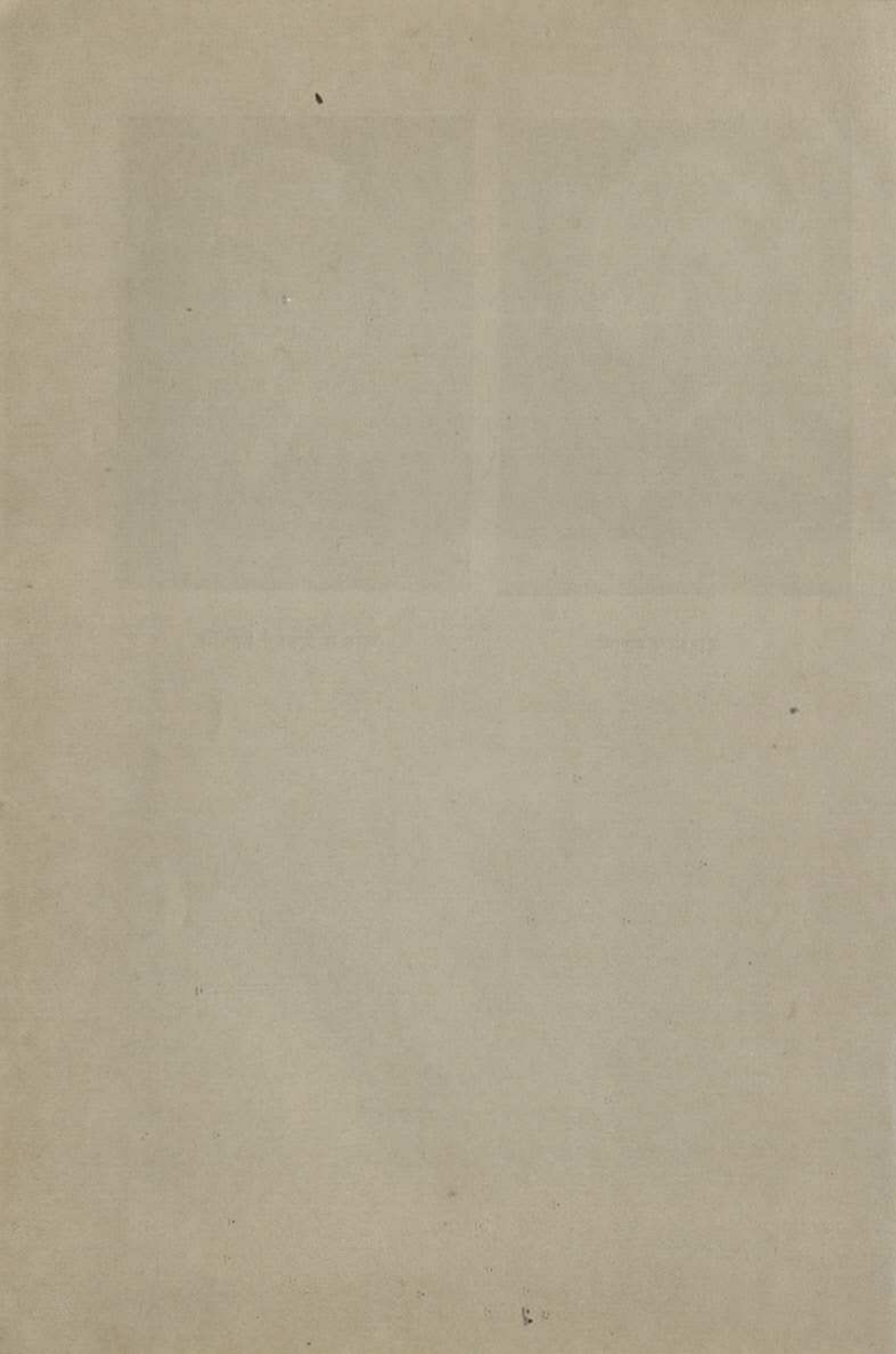
१५ ऑगस्ट १८७४ रोजी बव्हारियातील शिकेनहॉफ गावात जोहानेस स्टार्कचा जन्म झाला. बेरुथ आणि रेगेन्सबर्ग येथे त्याचे शालेय शिक्षण झाले. १८९४ ते १८९८ या काळात त्याने म्युनिच विद्यापीठात भौतिकीशास्त्र, रसायन–शास्त्र, गणित आणि स्फटिकविज्ञान या शास्त्रांचा अभ्यास केला. १८९८ मध्ये म्युनिचमधल्या फिझिकल अिन्स्टिटयूटमध्ये त्यास प्रयोगशाळेतला सहाय्यक घेण्यात आले. दोन वर्षानंतर १९०० मध्ये त्याने गॉटिन्जेन विद्यापीठात अध्यापन कार्याला सुरवात केली. १९०६ मध्ये हॅनोव्हरच्या टेक्निकल हायस्कूलमध्ये त्यास प्राध्यापक नेमण्यात आले. १९०९ मध्ये आकेन येथील टेक्निकल हायस्कूलमध्ये त्यास भौतिकी–शास्त्राचा प्राध्यापक नेमले. आठ वर्षे तेथे काम केल्यानंतर १९१७ मध्ये तो ग्रीफ्सवाल्ड विद्यापीठात प्राध्यापक झाला. तीन वर्षांनी १९२० मध्ये तो वुर्झ–बर्गच्या विद्यापीठात भौतिकीशास्त्र शिकवू लागला. तेरा वर्षे वुर्झबर्ग विद्यापीठात



जोहानेस स्टार्क



चार्ल्स अेडवर्ड गिलॉमे



काढल्यानंतर १९३३ मध्ये तो शार्लेटनबर्ग येथील फिझिकालिश टेक्निश रिकसान स्टाल्ट या संस्थेत भौतिकीशास्त्राचा प्राध्यापक झाला. कार्यनिवृत्त होईपर्यंत तो याच संस्थेत होता.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

१८४२ मध्ये जोहान क्रिश्चन डॉपलर याने अेक भविष्य वर्तवले. स्थिर किंवा अेका जागी उभा असलेल्या प्रेक्षकाकडे जर एखादी प्रकाशमान वस्तू येत असेल, तर तिचा रंग, तीच तीच वस्तू स्थिर प्रेक्षकाकडून दूर जाताना दिसणाऱ्या रंगाहून भिन्न असेल. प्रकाशमान वस्तू स्थिर असताना तिच्यातून उत्सर्जित होणाऱ्या प्रकाशाच्या वारंवारतेपेक्षा वस्तू प्रेक्षकाकडे येत असता त्या वस्तुतून उत्सर्जित होणाऱ्या प्रकाशाची वारंवारता जास्त असेल आणि वस्तू प्रेक्षकापासून दूर जात असता, त्या वस्तुतून उत्सर्जित होणाऱ्या प्रकाशाची वारंवारता कमी असेल. सर्व ताऱ्यातून श्वेत प्रकाश उत्सर्जित होत असतो अशी डॉपलरची कल्पना होती. त्यामुळे ताऱ्यांचे रंग भिन्न भिन्न असण्याचे कारण त्यातील काही तारे पृथ्वीकडे येत असतात आणि काही पृथ्वीपासून दूर जात असतात असे त्यास वाटले. परंतु १८४५ मध्ये सी.अेच्. डी. बॉईजबॅलॉट याने असे दाखवून दिले की, श्वेत प्रकाश उत्सर्जित करणाऱ्या वस्तूच्या रंगात ती प्रेक्षकाकडे येण्याने किंवा ती प्रेक्षकाकडून दूर जाण्याने काहीही फरक होत नाही, कारण वस्तूची गती प्रेक्षकाकडे किंवा विरूद्ध दिशेला असली तरी सर्व वर्णपटाचे उत्सर्जन होणार असल्याने, प्रकाशाची वारंवारता वाढल्याने किंवा कमी झाल्याने प्रकाशाच्या रंगात होणारा फरक विस्थापित झालेल्या वर्ण-पटरेषांची जागा रक्तपूर्व किंवा नीलातीत प्रकाश किरणानी भरून येणार आहे. १८४८ मध्ये फिझॉ याने याविषयासंबंधी आणखी अेक भविष्य वर्तविले. प्रकाशाचे उत्पत्तीस्थान प्रेक्षकाकडे येत असेल तर वर्णपटातील रेषांचे- उदाहरणादाखल हाय-ड्रोजनच्या वर्णपटातील रेषांचे वर्णपटातील निळ्या कडे कडे विस्थापन होईल आणि प्रकाशाचे उत्पत्तीस्थान प्रेक्षकाकडून दूर जात असेल तर वर्णपटातील रेषांचे वर्ण-पटाच्या रक्त कडेकडे विस्थापन होईल. परंतु वर्णपटशास्त्राची पुरेशी प्रगती झाली नसल्याने, फिझॉने वर्तवलेल्या भविष्याप्रमाणे वर्णपटातील रेषांचे विस्थापन होते की नाही हे प्रायोगिकरीत्या पडताळून पाहाण्याचा योग १८७० पर्यन्त घडून आला नाही १८७० मध्ये डॉपलरचे आणि फिझॉचे भविष्य पडताळून पाहिल्यानंतर, तारे पृथ्वीकडे किती वेगाने येताहेत किंवा पृथ्वीपासून किती वेगाने दूर जाताहेत हे

ठरविण्यासाठी, त्यांच्या वर्णपटातील रेषा वर्णपटाच्या कोणत्या कडेकडे विस्थापित होतात याचा अभ्यास सुरु झाला.

ॲकोणिसावे शतक संपेपर्यंत, पृथ्वीतलावरच उत्पत्तीस्थान असणाऱ्या प्रकाशाच्या बाबतीत डॉपलर परिणाम दिसून येतो की नाही हे पाहाता आले नाही, कारण प्रकाशमान होणाऱ्या कोणत्याही वस्तूला अतीवेग देण्याची शक्यताच त्यावेळी नव्हती. कॅनाल किरणात असलेल्या अनुदीप्त व खूप वेग असणाऱ्या अणूंच्या बाबतीत डॉपलर परिणाम दिसून आला पाहिजे असे स्टार्कने १९०२ साली भविष्य वर्तवले. कॅनाल किरणातील हे अनुदीप्त अणू ज्या दिशेने जात असतात,त्या दिशेने या अणूपासून मिळवलेल्या वर्णपटाकडे पाहिल्यास,त्या अणूंच्या बाबतीत डॉपलर परिणाम दिसून येईल व वर्णपटातील रेषांचे विस्थापन अणूंच्या वेगावर अवलंबून असल्याने वर्णपटातील रेषांच्या विस्थापनावरून अणूंचा वेग काढता आला पाहिजे असे त्याचे म्हणणे होते. हायड्रोजन अणू घटक असलेल्या कॅनाल किरणांच्या बाबतीत आपण अपेक्षिलेला डॉपलर परिणाम दिसून येतो असे १९०५ साली स्टार्कला आढळले. हायड्रोजन अणू प्रेक्षकाकडे येत असतील तर हायड्रोजनच्या वर्णपटातील प्रत्येक रेषा, वर्णपटाच्या निळया कडेकडे विस्थापित होते आणि हायड्रोजन अणू प्रेक्षकापासून दूर जात असतील तर हायड्रोजनच्या वर्णपटातील प्रत्येक रेषा वर्णपटाच्या लाल कडेकडे विस्थापित होते असे त्याला आढळले. त्यानंतर इतर मूलतत्वांच्या बाबतीतही डॉपलर परिणाम दिसतो असे त्यास आढळले. कॅनाल किरणात प्रकाशमय अणू असतात या विषयीचा हा आणखी ॲक पुरावा झाला.

चुंबकीय क्षेत्रामुळे वर्णपटातील रेषांचे विस्थापन होते, हे झीमनने शोधून काढले होते. परंतू वैद्युती क्षेत्राचा परिणाम घडवून आणून, वर्णपटातील रेषांचे विभाजन करण्याच्या प्रयत्नास यश प्राप्त झाले नव्हते. छिद्र पाडलेल्या कॅथोडच्या मागे व त्यापासून अगदी थोडचा मिलीमीटर अंतरावर तिसरा इलेक्ट्रोड ठेवून व त्या दोहोमध्ये दर सेंटीमीटरला वीस हजार व्होल्ट किंवा त्याहूनही जास्त वैद्युती–क्षेत्र निर्माण केल्यावर, स्टार्कला १९१३ मध्ये कॅनाल किरणांच्या बाबतीत डॉप–लर परिणाम दिसून आला. कॅथोडला पाडलेल्या छिद्रातून बाहेर पडणाऱ्या कॅनाल किरणांचे, ते किरण जाण्याच्या दिशेशी काटकोन करणाऱ्या दिशेने वर्णपटमापी–

मधून पाहिले तर डॉपलरवर परिणामाचे निरिक्षण करता येते असे स्टार्कने शोधून काढले.

कॅनाल किरणांच्या बाबतीत डॉपलर परिणाम दिसून येतो आणि वैद्युती क्षेत्रात वर्णपट रेषांचे बिभाजन होते किंवा वैद्युती क्षत्रामुळे वर्णपटातील अेका रेषेच्या जागी अनेक रेषा दिसू लागतात या दोन्ही शोधाचा वृत्तांत स्टार्कच्या नोबेल व्याख्यानात आला आहे. मूळ व्याख्यान जर्मन भाषेत असून, येथे त्या व्याख्यानाच्या काही भागाचा अनुवाद दिला आहे.

" अणूच्या रचनेतील फरक आणि त्या फरकामुळे त्यांच्या वर्णपटात घडून येणारे फरक यांचा संबंध प्रायोगिकरित्या शोधून काढण्यासाठी मी गेली वीस वर्षे किंवा त्याहून अधिक काळ धडपडत होतो. अणूच्या पृष्ठभागाच्या रचनेतील फरक हा त्या संशोधनातला पहिला टप्पा आहे. त्यासाठी ज्याचे सर्व विभाग परस्पराशी समतोलात आहेत अशा अणूपासून आपण सुरवात करू. अनुभवांती असे समजून आले आहे की वैद्युती विकिरणांच्या आघाताने, अणूच्या पृष्ठभातून अेक ऋणकण अणूपासून विलग करता येतो. (काही विशिष्ठ परिस्थितीत अणूच्या पृष्ठभागा-तून दुसरा किंवा तिसरा ऋणकणही अणूपासून विलग होतो.) अणूपासून अेक किंवा अधिक ऋणकण सुटे काढल्याने, आता आपल्याला अेक, दोन किंवा तीन संयुज्यना असलेल्या आयनांचा विचार करावा लागतो. उदासिन अणूचा व त्याच अणूपासून मिळवलेल्या धन आयनाचा वर्णपट कसा असतो? त्यात काही फरक असतो का? धन आयनापासून पुन्हा उदासिन अणू तयार झाला तर काही तरी वेगळ्या प्रकारचा वर्णपट मिळतो का?

वैद्युती क्षेत्रामध्ये धनआयनाना जाऊ देऊन, त्यांची गती काढता येते व अशा रीतीने उदासीन अणू आणि धन आयन यामध्ये फरक करता येतो. अणूपासून मिळणाऱ्या वर्णपटरेषा आणि अणूंचा वेग यामधील संबंध आपण प्रस्थापित करु शकलो तर विस्थापित झालेल्या वर्णपट रेषा वेगवान आयनामुळे मिळतात असे आपण दाखवू शकू. विस्थापित वर्णपटरेषा वेगवान आयनामुळे मिळतात याचा पुरावा डॉपलर तत्त्वावर आधारला आहे.

वर्णपटरेषा आपण ज्या अक्षाच्या दिशेने पाहातो त्या अक्षाशी काटकोन करणाऱ्या दिशेत धन आयन शलाका असेल अशी उपकरणाची मांडणी आपण केल्यास, वर्णपटातील रेषा आपल्याला त्यांच्या नेहमीच्या जागी दिसतात. यावेळी त्या रेषांचे वाहक स्थिर असतात. आपण पाहातो त्या अक्षाच्या दिशेने, धनआयन-शलाका आपल्याकडे येत आहे अशी उपकरणांची वेगळी मांडणी केल्यास, वर्ण-पटातील रेषांचे त्यांच्या नेहमीच्या स्थानापासून विस्थापन झाल्याचे दिसून येईल. वर्णपट रेषांचे नेहमीच्या स्थानापासूनचे हे विस्थापन कमी तरंगलांबीच्या कडेकडे व वर्णपट रेषांच्या वाहकांच्या वेगाच्या प्रमाणात होत असल्याचे आपल्याला दिसून येईल. जर धन आयन आपण पाहाण्याच्या अक्षाच्या दिशेने आपल्यापासून दूर जात असतील तर वर्णपटरेषांचे त्यांच्या नेहमीच्या स्थानापासून, ते विस्थापन विरुद्ध दिशेला म्हणजे जास्त तरंगलांबीच्या कडेकडे व वर्णपटरेषांच्या वाहकांच्या वेगाच्या प्रमाणात होईल.

माझ्या या कल्पना बरोबर आहेत की नाहीत हे ठरविण्यासाठी मी १९०५ मध्ये प्रयोगास सुरवात केली. त्यावेळच्या माहितीप्रमाणे डिस्चार्ज (विसर्जन) नलिकेच्या कॅथोडकडे कॅथोडच्या छिद्रातून वेगाने पलिकडे जाणारे कॅनाल किरण वेगवान धनआयन असतात. तेव्हा हायड्रोजन कॅनाल किरणशलाकेच्या अक्षाशी काटकोन करणाऱ्या दिशेत मी माझ्या वर्णपटमापीचा कॉलीमीटर ठेवला. त्यानंतर कॉलीमीटरच्या अक्षाच्या दिशेने मी कॉलीमीटरमध्ये कॅनाल किरण येऊ दिले. प्रथमतः मिळालेल्या व त्यानंतर मिळालेल्या वर्णपटांची तुलना करता, हायड्रोजनच्या वर्णपटातील रेषामालिकावर डॉपलर परिणाम झाल्याचे दिसून आले. इतर मूलतत्त्वांच्या बाबतीत, अशाच प्रकारचे प्रयोग करुन पाहाता, त्यांच्याही बाबतीत डॉपलर परिणाम दिसून आला.

अशारीतीने १९०६ च्या सुमारास अेक गोष्ट प्रस्थापित झाल्यासारखी होती. ती ही की— मूलतत्त्वांच्या वर्णपटातील रेषामालिकांचे वाहक त्या मूल-तत्वापासून मिळालेले धनआयन असतात. माझ्या प्रयोगांचे मी केलेले हे निर्वचन शास्त्रज्ञाना पटले नाही आणि त्यानी त्याच्या अचूकतेबद्दल शंका प्रदर्शित केल्या. डब्ल्यु. वीन आणि विशेषे करुन जे. जे. थॉमसन यानी कॅनाल किरणात धन-आयनांच्या जोडीला उदासिन अणूही असतात असे सिद्ध केले. त्यामुळे माझ्या

प्रयोगांत दिसून आलेल्या डॉपलर परिणामाचा संबंध कॅनाल किरणातील धन-आयनाशी लावायचा की उदासिन अणूशी लावायचा असा प्रश्न निर्माण झाला. परंतू धनआयन घटक असणाऱ्या कॅनाल किरणांच्या बाबतीत डॉपलर परिणाम दिसून आल्याने, त्या प्रश्नाचे आपोआपच उत्तर मिळाले.

- - - - -

अणुच्या पृष्ठभागातून अेक ऋणकण काढून टाकला व त्यामुळे अणूचे आयनीकरण झाले याचा अर्थ अणूच्या पृष्ठभागात काही तरी खूप मोठा फरक घडून आला आहे. त्यामुळे अणूच्या वर्णपटात आणि त्या अणूपासून तयार झालेल्या धन आयनांच्या वर्णपटात खूप मोठा फरक असला पाहिजे असे पहिल्या–पासून अपेक्षितच होते. पण मी जे दुसऱ्या प्रकारचे प्रयोग केले, त्यामध्ये अणुरचनेत फार मोठा फरक घडून येत नसल्याने अशा प्रकारची अपेक्षा बाळगता येत नव्हती.

धन व ऋण विद्युतभार धारण करणारे कण अेकत्र येऊन अणू तयार झालेला असतो, हे आपण लक्षात ठेवायला पाहिजे. अणुरचना ही अेकप्रकारे बंदिस्त रचना आहे. अणूवर जर आपण बाह्य वैद्युती क्षेत्राचा परिणाम घडवून आणला तर तो अणूतील धन व ऋण विद्युतभारवाही कणावर अेकाच वेळी होणार आहे. बाह्य वैद्युती क्षेत्रामुळे अणूतील धनकणांचे अेका बाजूला विस्थापन होईल आणि ऋण–कणांचे दुसऱ्या बाजूस विस्थापन होईल. दोन विरुद्ध दिशाना विस्थापित झालेल्या कणांच्या विरोधामुळे अशा प्रकारच्या विस्थापनाची मर्यादा लवकरच प्रस्थापित होईल. विस्थापन मर्यादा प्रस्थापित झाली तरी अणूतील धन व ऋण कणांचे काही तरी विस्थापन होणारच. अणूतील धन व ऋण कणांचे विस्थापन झाले म्हणजे त्यामुळे अणूमध्ये काही तरी व्यंग आले आणि अणुरचनेत फरक झाला. तर त्या फरकामुळे अणूच्या वर्णपटात फरक होईल का? वैद्युती क्षेत्राचा वर्णपट रेषावर काही तरी परिणाम होतो का ?

अणूच्या वर्णपटातील रेषावर चुंबकीय क्षेत्राचा परिणाम याविषयी झीमनने संशोधन केले व त्याविषयीची उपपत्ती मांडली. तर अणूच्या वर्णपटातील रेषावर वैद्युती क्षेत्राच्या परिणामासंबंधी व्हॉइग्टने अेक गणिती उपपत्ती या आधीच

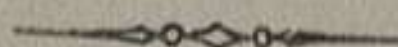
मांडली होती. व्हॉइग्टच्या या उपपत्तीप्रमाणे अणूच्या वर्णपटातील रेषांच्या तरंग–लांबीमध्ये किंवा वारंवारतेमध्ये फारच थोडा फरक व्हायला पाहिजे. त्यामुळे ती उपपत्ती फारशी समाधानकारक वाटत नव्हती. परंतू खूप प्रयत्न करुनही अणूच्या वर्णपटरेषात वैद्युती क्षेत्रामुळे फरक पडतो असे प्रायोगिकरीत्या न आढळल्याने व्हॉइग्टची उपपत्ती बरोबर आहे असे वाटू लागले होते.

परंतू व्हॉइग्टची उपपत्ती ज्या आधारतत्त्वावर मांडली गेली होती, ती आधारतत्त्वे मला पटत नव्हती. अणूच्या वर्णपटातील कोणतीही अेक रेषा, अणु–गर्भाभोवती फिरणाऱ्या अेका ऋणकणामुळे मिळते हे मला पटत नव्हते. अणूची रचना अतिशय जटिल असून, अणूतील निरनिराळया विद्युतभारवाही कणांच्या परस्परा-बरोबरील संबंधातून व परस्परावरील परिणामामुळे अणूच्या वर्णपटातील रेषा मिळत असतात असे मत मी मांडले. त्या मताला धरून विचार केल्यास, वैद्युती क्षेत्रामुळे अणूच्या रचनेत फरक व्हायला पाहिजे व तसा फरक झाल्यास अणूच्या वर्णपटातही फरक घडून आला पाहिजे. म्हणून अनुदीप्त वायूमध्ये सामर्थ्यशाली वैद्युतीक्षेत्र निर्माण करण्याच्या प्रश्नाकडे मी माझे लक्ष केन्द्रित केले. कॅथोडमधील छिद्रातून कॅनाल किरण बाहेर पडल्यानंतर ते सामर्थ्यशाली वैद्युती क्षेत्रात प्रवेश करतील अशी व्यवस्था मी केली. कॅथोड आणि त्याच्या जवळच ठेवलेला तिसरा अिलेक्ट्रोड यांच्यामध्ये सामर्थ्यशाली वैद्युती क्षेत्र निर्माण करुन, मी ही व्यवस्था केली.

डिसचार्ज किंवा विसर्जन नलिकेमध्ये हायड्रोजन किंवा हेलियम वापरुन मिळवलेल्या कॅनाल किरणावर वैद्युती क्षेत्राचा परिणाम होऊ देऊन, घेतलेल्या फोटोमध्ये वैद्युती क्षेत्राचा वर्णपटातील रेषावर परिणाम झाल्याचे दिसून आले. आणि वैद्युती क्षेत्राचा अणूच्या वर्णपटातील रेषावर परिणाम या नव्या संशोधन क्षेत्रात खूप कार्य करण्याची संधी आहे असे समजून आले. अनुदीप्त वैद्युती क्षेत्राचे, त्याला काटकोनात असणाऱ्या दिशेने निरीक्षण केले तर वर्णपटातील प्रत्येक रेषा वैद्युती क्षेत्रामुळे दुभंगलेली दिसेल आणि अेका रेषेच्या जागी निर्माण झालेल्या या दोन रेषा वर्णपटाच्या जास्त तरंगलांबीच्या टोकाकडे नेहमीच्या जागेपासून विस्थापित झालेल्या दिसतील अशी याविषयीच्या उपपत्तीची अपेक्षा होती. प्रत्यक्ष प्रकार अगदीच वेगळा होता ! हायड्रोजनच्या लाल रेषेतून दोना-अैवजी नऊ रेषा मिळाल्या. त्यातील सहा रेषांची आंदोलने वैद्युती क्षेत्राशी समांतर होती तर तीन रेषांची आंदोलने वैद्युती क्षेत्राच्या काटकोनात होती.

संशोधनाचा परिणाम

पी. अॅपस्टीनने १९१६ मध्ये क्वांटम उपपत्तीच्या आधारे स्टार्क परिणामाचे स्पष्टीकरण केले. अणुरचनेविषयीच्या बोर उपपत्तीत भर घालून, त्या उपपत्तीची सुधारित आवृत्ती त्याने या कामासाठी वापरली. १९२६ मध्ये श्रॉडिंजरने तरंग यंत्रशास्त्राच्या आधारे स्टार्क परिणामाचे स्पष्टीकरण केले. अेपस्टीनच्या आणि श्रॉडिंजरच्या स्पष्टीकरणामध्ये उपपत्तीप्रमाणे वर्णपटातील अपेक्षित फरक आणि प्रायोगिकरित्या आढळून आलेले फरक यामध्ये फार उत्कृष्ट प्रकारची अेकवाक्यता आढळली.



१९२०

चार्लस अेडवर्ड गिलॉमे

(१८६१ – १९३०)

“ निकेल – पोलाद मिश्र धातूचा लघुत्तम प्रसरण गुणक शोधन, अचूक वजनमापे तयार करण्याच्या बाबतीत उत्कृष्ट प्रकारचे कार्य केल्याबद्दल पारितोषिक ”

चरित्र

स्विस ज्युरा प्रांतातील फल्युरिअे गावी, १५ फेब्रुवारी १८६१ रोजी चार्लस अेडवर्ड गिलॉमेचा जन्म झाला. न्युशॅटेल येथील जिम्नॅशियममध्ये आणि त्यानंतर तेथल्या अॅकेडमीत त्याचे शिक्षण झाले. शिक्षण पुरे झाल्यानंतर न्यूशॅटेल अॅकेडमीतील भौतिकीशास्त्राच्या प्राध्यापकाचा मदतनीस म्हणून त्याने अध्यापन कार्यास सुरवात केली. १८७८ – १८८२ ही चार वर्षे त्याने झुरिच येथील फेडरल पॉलिटेकनिक स्कूलमध्ये विज्ञानाचा व त्यातल्या त्यात भौतिकीशास्त्राचा विशेष अभ्यास केला. इलेक्ट्रोलिटिक कंडेन्सर्स या विषयावर संशोधन–ग्रंथ लिहून १८८३ मध्ये त्याने पीअेच्. डी पदवी संपादन केली. भौतिकीशास्त्रात डॉक्टरेट संपादन केल्यानंतर, वजने व मापे यात अचूकपणा आणण्यासाठी स्थापन केलेल्या, पॅरीस–जवळच्या सेव्हरेस गावातील इंटरनॅशनल ब्युरो ऑफ वेट्स अॅन्ड मेझर्स (आंतर-राष्ट्रीय वजन-माप-केन्द्र) या संस्थेत त्याने १ ऑक्टोबर १८८३ रोजी प्रवेश केला. तेथे त्याने प्रथमतः जे. रेने बेनॉल्ट यांच्या मार्गदर्शनाखाली संशोधन केले. त्यानंतर

दोघानी मिळून संशोधनकार्य चालू ठेवले. १९१५ मध्ये त्यास त्या आंतरराष्ट्रीय संस्थेचे संचालक नेमण्यात आले. १९३६ साली कार्यनिवृत्त होईपर्यन्त त्याने त्या संस्थेचे संचालकपद संभाळले. कार्यनिवृत्त झाल्यानंतर तीन वर्षांनी १३ जून १९३८ रोजी त्याने इहलोकचा निरोप घेतला.

गिलॅमिने धातुविज्ञानशास्त्राच्या वाढीस हातभार लावल्याबद्दल, जगातील बऱ्याच विज्ञानसंस्थानी त्याचा वेळोवेळी सत्कार करुन, त्याच्या कार्याचे कौतुक केले आहे. फ्रान्सने त्याला लिजन ऑफ ऑनरचा ग्रॅन्ड ऑफिसर नेमून त्याचा बहुमान केला.

गिलॅमिने ज्या इंटर नॅशनल ब्युरोमध्ये संशोधन केले, त्या ब्युरोची स्थापना १७९० मध्ये झालेली आहे. १७९० मध्ये फ्रान्सच्या नॅशनल असेम्ब्लीने त्यावेळी वापरात असलेल्या वजनमापातील गोंधळ नाहीसा करण्याच्या व त्यात अेकसूत्रता आणण्याच्या हेतूने काय कार्यवाही करायची हे ठरविण्यासाठी अेक समिती नेमली त्या समितीच्या शिफारशीप्रमाणे मेट्रिक पद्धत अस्तित्वात आली. पॅरीसमधून जाणाऱ्या अक्षांशाच्या अेक चतुर्थांश भागाचा अेक कोटयांश भाग म्हणजे मीटर असे लांबीचे परिमाण ठरविण्यात आले. अक डेसीमीटर (१/१० मीटर) लांबी रुंदी व उंची असलेला घन म्हणजे आकारमानाचे आधारभूत परिमाण मीटर असे ठरविण्यात आले. भाराच्या बाबतीत किलोग्रॅमच्या भाराची व्याख्या ठरविण्यात आली. ४° से. ला अेक लिटर शुद्ध पाण्याचा भार म्हणजे किलोग्रॅम असे ठरविण्यात आले. ४° से. तपमानाला पाण्याची घनता बृहत्तम असते हे सर्वांना माहीत आहेच.मीटरची लांबी अचूक ठरविण्यासाठी नेमलेल्या समितीने आपलाअहवाल१७९९ मध्ये फ्रेंच सरकारपुढे ठेवला. त्याच वर्षी प्लॅटिनम धातूचा प्रमाण मीटर व प्लॅटिनम धातूचा प्रमाण किलोग्रॅम तयार करण्यात आला. प्लॅटिनम धातूला झीज जवळ जवळ नसल्याने प्रमाण मीटर व प्रमाण किलोग्रॅम तयार करण्यासाठी तो धातू वापरण्यात आला होता.

त्यानंतर पृथ्वीच्या अक्षांशाचे जास्त अचूक मापन करण्यात आले. त्यामुळे ठरविलेला प्रमाण मीटर अेक चतुर्थांश अक्षांशाच्या बरोबर अेक कोटयांश भागाइतका नाही असे समजून आले. तेव्हा अक्षांशाची लांबी प्रमाणभूत न समजता तयार केलेला प्लॅटिनमचा मीटर प्रमाण ठरविण्यात आला. तसेच प्रमाणभूत

मानलेला प्लॅटिनमचा किलोग्रॅम, ४⁰ से. ला असलेल्या अेक घन डेसीमीटर आकार-मानाच्या पाण्याच्या भाराहून भिन्न असल्याचे समजून आले. तेव्हा ४⁰ से. अस-लेल्या अेक लिटर पाण्याचे वजन प्रमाणभूत न मानता, तयार केलेला प्लॅटिनमचा किलोग्रॅम प्रमाण मानण्यात आला व त्यावरून लिटरची व्याख्या करण्यात आली. अेक किलोग्रॅम पाण्याचे ४⁰ से. ला असणारे आकारमान म्हणजे अेक लिटर अशी लिटरची व्याख्या ठरली. तेव्हा एक लिटर म्हणजे एक घन डेसीमीटर किंवा अेक हजार घन सेंटीमीटर पाण्याचे ४⁰ से. ला असणारे आकारमान नाही हेही त्या पाठोपाठ म्हणावे लागले.

१८७५ मध्ये इंटरनॅशनल ब्युरो ऑफ वेट्स अॅन्ड मेझर्स किंवा वजनमापा-विषयी निर्णय घेणारी आंतरराष्ट्रीय संस्था स्थापन करण्यात आली. जगात सर्वत्र प्रमाण मीटर व प्रमाण किलोग्रॅम ह्या वजनमापाचा प्रसार करायचा हे उद्दिष्ट या संस्थेपुढे ठेवण्यात आले. हे उद्दिष्ट साधण्यासाठी १८८९ मध्ये प्लॅटिनमचा जुना किलोग्रॅम व प्लॅटिनमचा जुना मीटर या जुन्या प्रमाण वजनमापाअेवजी प्लॅटिनम-इरिडियम मिश्र धातूपासून तयार केलेले किलोग्रॅम व मीटर प्रमाण ठर-विण्यात आले. नव्याने तयार केलेले किलोग्रॅम व मीटर शक्य तितक्या अचुकतेने प्लॅटिनमच्या जुन्या किलोग्रॅमशी व मीटरशी जुळती होती. या प्लॅटिनम-इरिडियम मिश्र धातूच्या प्रमाण किलोग्रॅमला आंतरराष्ट्रीय प्रमाण किलोग्रॅम व नव्या प्रमाण-मीटरला आंतरराष्ट्रीय प्रमाण मीटर म्हणतात. ही दोन्ही प्रमाण वजनमापे सेव्हरेस येथील आंतरराष्ट्रीय वजनमाप संस्थेत ठेवली आहेत. प्रमाण किलोग्रॅम व प्रमाण मीटर ठरविल्यानंतर, निरनिराळ्या देशासाठी प्रमाण किलोग्रॅम व प्रमाण मीटर तयार करुन ते त्या त्या देशाना पुरविण्यात आले.

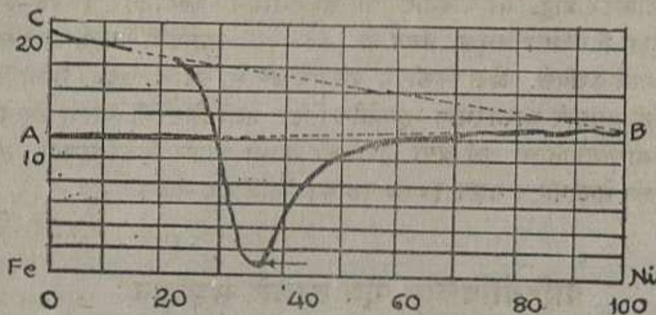
गिलॅमेने ज्यावेळी आंतरराष्ट्रीय वजनमाप संस्थेत प्रवेश केला त्यावेळी काचनलिकेत पारा भरलेल्या तपमानमापीमध्ये चूक होण्याची शक्यता कशामुळे संभवू शकते व ती शक्यता टाळण्यासाठी काय उपाय योजना केली पाहिजे याविषयी संशोधन करण्याचे काम त्याच्यावर सोपवण्यात आले. प्लॅटिनम - इरि-डियम मिश्र धातूचा प्रसरण गुणक अत्यंत अल्प असला तरी, धातूंच्या प्रमाण वजनमापांचा विचार करताना, तपमानाप्रमाणे धातुचे प्रसरण किंवा आकुंचन होत असल्याने तपमानाचे अचूक मापन हा प्रश्नही अतिशय महत्त्वाचा आहे. तपमान मापनाच्या बाबतीत गिलॅमेने केलेले संशोधन ग्रंथरुपाने १८८९ मध्ये प्रसिद्ध झाले आहे.

यानंतर घन डेसीमीटर शुद्ध पाणी व प्रमाण किलोग्रॅम याचा परस्परसंबंध नक्की किती आहे हे ठरविण्याचे काम गिलॅमिकडे सोपवण्यात आले. १९०४ मध्ये या विषयीचे संशोधन पुरे करुन, तो अशा निर्णयाप्रत आला की एक किलोग्रॅम पाण्याचे ७६० मिलीमीटर दाबाखाली व ४^0 से. ला. आकारमान १०००–०२९ घन सेन्टीमीटर आहे. या बाबतीत आणखी संशोधन केल्यानंतर १०००–०२९ हा आकडा तितकासा अचूक नसून तो १०००·२८ असायला पाहिजे असे त्याने १९२७ मध्ये ठरविले. अेक किलोग्रॅम पाण्याचे ४^0 से. ला व ७६० मिलीमीटर दाबाखाली असणारे आकारमान म्हणजेअेक लिटर अशी लिटरची व्याख्या असल्याने, गिलॅमिच्या संशोधनाचा अर्थ असा होतो की ज्याला आपण लिटर म्हणतो, त्यात १००० घन सेन्टीमीटर नसून १०००·२८ घन सेंटीमीटर आहेत.

पारितोषिकास पात्र ठरलेले संशोधन

निरनिराळया राष्ट्रासाठी प्रमाण वजनमापे तयार करण्यासाठी वापरण्यात येणाऱ्या प्लॅटिनम- इरिडियम मिश्र धातूच्या भारी किंमतीमुळे, त्या मिश्र धातूची जागा घेऊ शकेल अशा तऱ्हेचा नवीन मिश्र धातू शोधून काढावा या उद्देशाने गिलॅमिने केलेले संशोधन अत्यंत महत्त्वपूर्ण ठरले असून त्या संशोधनाने त्याला नोबेल पारितोषिक विजेत्याचा मान मिळवून दिला. लोह व निकेल यांच्या मिश्रधातूत इष्ट ते गुणधर्म मिळावेत असे त्याला प्रथम दर्शनी वाटले. अेका लोह निकेल मिश्र धातूचा प्रसरण गुणक शुद्ध लोहाच्या किंवा शुद्ध निकेलच्या प्रसरण गुणांकाहून बराच जास्त होता तर दुसऱ्या अेका लोह निकेल मिश्र धांतूचा प्रसरण गुणक शुद्ध लोहाच्या किंवा शुद्ध निकेलच्या प्रसरण गुणकाहून बराच कमी होता. गिलॅमिने या मिश्र धातूंचा पद्धतशीर व बारीक तपशिलात जाऊन अभ्यास सुरु केला. बरीच वर्षे चालू असलेल्या या संशोधनात त्याने लोह व निकेल यांची निरनिराळी टक्केवारी असलेल्या मिश्र धातूंचे प्रसरणगुणक नक्की केले. ३५·६ टक्के निकेल असलेल्या लोह-निकेल मिश्रधातूचा प्रसरण गुणक इतर कोणत्याही मिश्र धातूच्या किंवा शुद्ध धातूच्या प्रसरण गुणकाहून बराच कमी असल्याचे त्यास आढळून आले. ह्या विशिष्ट लोह-निकेल मिश्र धातूचा प्रसरण गुणक शुद्ध लोहाच्या किंवा शुद्ध निकेलच्या प्रसरणगुणकाच्या १/१० इतका व प्लॅटिनम-इरि-डियम मिश्र धातूच्या प्रसरण गुणकाच्या जवळ जवळ १/१०इतका असल्याचे त्यास आढळले. या विशिष्ट मिश्रधातूला त्याने इन्व्हर असे नाव दिले. Invariable

म्हणजे न बदलणारा या शब्दाचे लघुरुप इन्व्हर आहे. प्रसरणगुणक अत्यंत कमी असल्याने त्या मिश्र धातूच्या सळीची किंवा कांबीची लांबी तपमानाप्रमाणे फारशी बदलत नाही हे ध्यानात घेऊन, त्या विशिष्ट मिश्र धातूला इन्व्हर हे नाव मिळाले आहे. लोह निकेल मिश्र धातूतील निकेलचे प्रमाण वाढत गेल्यास



आकृती - 16 गिलोमीची आकृती - 2
निकेल-पोलाद मिश्रधातूच्या रचनेप्रमाणे त्याचे प्रसरण.
(तळाकडच्या अक्षावर मिश्रधातूतील निकेलची टक्केवारी दिली आहे)

मिश्र धातूच्या प्रसरण गुणकामध्ये कसा फरक पडतो हे सोबतच्या आकृतीत दाखविले आहे. आकृतीतील A या स्थळी म्हणजे धातूमध्ये निकेलची टक्केवारी शून्य व लोहाची टक्केवारी १०० असताना, धातूचा प्रसरण गुणक ११.९X१०$^{-६}$ असतो. धातूमध्ये वीस टक्के निकेल असताना, तो १९X१०$^{-६}$ इतका होतो. तर ३६ टक्के निकेल असताना प्रसरण गुणक अेकदम कमी होऊन १ × १०$^{-६}$ इतका होतो. मिश्रधातूमध्ये ३६ टक्याहून जास्त निकेल असल्यास, प्रसरण गुणक अेकदम वाढतो. त्यानंतर वाढत वाढत B या स्थळी म्हणजे शून्य टक्के लोह व शंभर टक्के निकेल असताना तो ११X१०^{६} इतका होतो.

गिलॅमेने शोधून काढलेल्या दुसऱ्या अेका मिश्रधातूला अेलिन्व्हर असे नाव मिळाले आहे. या धातूची elasticity किंवा स्थितीस्थापकत्व बराचसा तपमान-फरक होऊनही स्थिर राहाते. हा विशिष्ट गुणधर्म लक्षात घेऊन elasticity invariable याचे लघुरुप elinuar (अेलिनव्हर) तयार करण्यात आले आहे.

नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार केल्यानंतर फ्रेंच भाषेत दिलेल्या व्याख्या-नात गिलॅमिने इन्व्हर पोलादाचा शोध कसा लागला हे सांगितले आहे. त्या व्याख्यानाचा काही भाग या ठिकाणी दिला आहे.

" १८८९ मध्ये तयार केलेली प्रमाण वजनमापे उत्कृष्ट होती यात शंका नाही. हेन्री सेन्ट क्लेअर डिव्हिले यानी तयार केलेल्या प्लॅटिनम इरिडियम मिश्र धातूपासून ही प्रमाण वजनमापे तयार करण्यात आली होती. काठिण्य, टिकाऊपणा व रासायनिक प्रक्रियांचा परिणाम घडून येण्याची अल्प शक्यता या गुणसमुच्चया-मुळे, शेकडो वर्षे टिकून राहातील अशा प्रकारची प्रमाण वजनमापे तयार करण्यासाठी त्या मिश्रधातूची निवड अत्यंत योग्य होती. परंतु त्या मिश्रधातूची किंमत फार असल्याने नेहमीच्या विज्ञान प्रयोगात त्या मिश्र धातूची वजनमापे वापरणे शक्य नव्हते.

त्यामुळे प्रमाण वजनमापे तयार करण्यासाठी जास्त स्वस्त धातू शोधणे अगदी अवश्य होते. अविश्वनीय व कमी किंमतीची वजनमापे आणि अचूक पण भारी किंमतीची वजनमापे यामध्ये असणारे अंतर कमी व्हायलाच पाहिजे होते.

१८९१ मध्ये मी प्रथमतः या प्रश्नाकडे लक्ष पुरविले. शुद्ध निकेलचे कित्येक चांगले गुणधर्म त्यावेळी माझ्या लक्षात आले. पण अेका तांत्रिक अडचणी-मुळे मला माझे संशोधन पुढे चालू ठेवता आले नाही. चार मीटर लांबीची प्रमाण पट्टी मला तयार करायची होती. पण कोणताच कारखाना मला पाहिजे होती त्या तऱ्हेची प्रमाणपट्टी तयार करून द्यायला तयार नव्हता. मध्ये अजिबात सूक्ष्म भेगा नसणारी, सलग व चार मीटर लांबीची पट्टी, मला प्रमाणलांबीसाठी पाहिजे होती. पण तशी पट्टी न मिळाल्याने माझे संशोधन स्थगित झाले.

सुदैवाने माझ्या संशोधनाला १८९५ मध्ये जे. आर. बेनोल्ट यांच्या संशो-धनाने चालना मिळाली. बावीस टक्के निकेल, तीन टक्के क्रोमियम व बाकीचे लोह या मिश्र धातूचा प्रसरणगुणक पितळेच्या प्रसरणगुणकाइतका असल्याचे बेनोल्टला आढळून आले. शिवाय त्या मिश्रधातूत चुंबकत्वाचा गुणधर्म अजिबात नव्हता. म्हणजे प्रसरण गुणक व चुंबकत्व या दोन बाबतीत त्याचे गुणधर्म अनपे-क्षित होते.

या सुमारास जॉन हॉपकिनसन याला आढळून आलेला लोह-निकेल मिश्र धातूचा अेक विशेष गुणधर्म माझ्या ध्यानात आला. पंचवीस टक्क्यांच्या आसपास निकेल असणारा लोह-निकेल मिश्र धातू, भट्टीतून येतो त्यावेळी त्यामध्ये चुंब-कत्व व काठिण्य हे दोन्ही गुणधर्म नसतात. पण तोच मिश्रधातू घन कार्बन डायॉक्साइडमध्ये थंड केल्यास, त्यामध्ये चुंबकत्वाचा गुणधर्म निर्माण होतो. शिवाय हा फरक घडून येताना त्याचे आकारमान साधारण अेक टक्क्याने वाढते.

हॉपकिनसन व बेनोल्ट याना आढळून आलेल्या गोष्टींचा परस्परसंबंध आहे असे मला वाटले. पण ज्या मिश्रधातूमध्ये तपमानाप्रमाणे फरक घडून येतो किंवा ज्याच्या प्रसरणक्षमतेत वाढ होते असा मिश्रधातू प्रमाण लांबीचे माप तयार करण्यासाठी वापरता येत नाही.

मग १८९६ मध्ये मला अचानक काही नवीन माहिती मिळाली. तीस टक्के निकेल व बाकीचे लोह या मिश्रधातूपासून तयार केलेली सळई ब्युरो इंटरनॅशनल मध्ये तपासणीसाठी आली. ती तपासून पाहता, तिची प्रसरणक्षमता प्लॅटिनमच्या प्रसरण क्षमतेच्या साधारण २/३ इतकी असल्याचे मला समजून आले.

मेट्रॉलॉजी शास्त्रामध्ये धातूची प्रसरणक्षमता या गुणधर्माच्या अभ्यासास प्राधान्य दिले जाते.तपमान मोजण्यात जर काही चूक झाली तर त्या चुकीचा परिणाम लांबी मोजण्यासाठी वापरावयाच्या प्रमाण मापात दिसून येतो. प्रमाण मापात प्रस-रण क्षमतेचा गुणधर्म असल्यास, तपमान मोजण्यातील चुकीचा परिणाम आणखीच वाढतो. म्हणून वापरावयाच्या उपकरणामध्ये तपमान मापनाची चूक येऊ नये यासाठी शास्त्रज्ञ फार जागरूक असतात.

लोह-निकेल मिश्र धातूंच्या गुणधर्मातील अनपेक्षितपणा लक्षात यायच्या आधी, बहुतेक सर्व भौतिकीशास्त्रज्ञाना वाटत होते की प्लॅटिनम-इरिडियम मिश्र-धातूहून कमी प्रसरणक्षमता असणारा शुद्ध धातू किंवा मिश्र धातू मिळणे शक्य नाही. मिश्रणाचे गुणधर्म, ते मिश्रण ज्या घटकापासून तयार करावे त्या घटक द्रव्यांच्या गुणधर्मावर अवलंबून असतात व ते त्या घटकद्रव्यांच्या परस्परप्रमाणाने ठरतात. हा मिश्रणाच्या गुणधर्माविषयीचा नियम भौतिकीशास्त्रज्ञांच्या मनावर इतका ठसला होता की प्लॅटिनम - इरिडियम मिश्र धातूहून कमी प्रसरण क्षमता

असलेला मिश्रधातू कधी तरी मिळेल असे त्याना वाटत नव्हते. लोह – निकेल मिश्रधातूतील घटकांची टक्केवारी बदलल्यास, धातूच्या प्रसरण क्षमतेत काय फरक होतो ते ठरविण्याचे काम, मला प्रथमतः करावे लागले. हे करताना मला बराच वेळ लागला. पण हा वेळ सत्कारणी लागला असे वाटते. बावीस टक्के निकेल असणारा व चुंबकियत्व असणारा लोह - निकेल मिश्रधातू आणि तीस टक्के निकेल असणारा व चुंबकियत्व असणारा लोह – निकेल मिश्रधातू यामधल्या निकेलच्या टक्केवारीत मिश्रधातूच्या गुणधर्मात सातत्य नसण्याची शक्यता असल्याने, बावीस टक्के ते तीस टक्के निकेल असणाऱ्या मिश्रधातूची प्रसरण क्षमता अभ्यासणे अत्यंत जरुर होते.

मिश्र धातूमधील मॅंगनीज, कार्बन, सिलिकॉन इत्यादी घटकांचा विचार न करता, निकेलच्या टक्केवारीप्रमाणे मिश्र धातूंच्या प्रसरण क्षमतेत होणाऱ्या फरकांचा मी प्रथमतः अभ्यास केला. परंतु त्या अभ्यासातून, मिश्र धातूंच्या प्रसरण-क्षमतेतील फरकाचे स्वरुप नीट व अचूक समजले नाही. बरीचशी संदिग्धता त्यात राहिली. त्यानंतर मिश्रधातूमध्ये मॅंगनीज व कार्बन यांची टक्केवारी काही ठरा–विकच ठेवून, निकेलच्या टक्केवारीप्रमाणे मिश्रधातूच्या प्रसरण क्षमतेत होणाऱ्या फरकाचा मी अभ्यास केला. त्यानंतर ०·१ टक्का मॅंगनीज. ७·४ टक्का कार्बन मिश्रधातूमध्ये ठेवून, निकेलच्या टक्केवारीप्रमाणे धातूच्या प्रसरण क्षमतेत होणारा फरक मी अभ्यासला.

– – – – –

या लोह – निकेल मिश्र धातुचा २०^0 से. ला प्रसरण गुणक किती असतो हे आकृतीत दाखवले आहे.

निकेलची टक्केवारी बदलत गेल्यास, लोह – निकेल मिश्र धातूच्या प्रसरण क्षमतेत बराच बदल घडून येतो असे मला आढळून आले. या मिश्रधातूची लघुत्तम प्रसरण क्षमता व बृहत्तम प्रसरण क्षमता यांचे परस्पर प्रमाण १:१५ इतके असते. मिश्र धातूची प्रसरण क्षमता कमी कमी होत, शुद्ध धातूच्या प्रसरणक्षमतेच्या अेक चतुर्थांशाइतकी होते. शिवाय ही लघुत्तम प्रसरण क्षमता साधे, कमी खर्चाचे, स्वस्त धातू वापरुन मिळाली आहे हे विशेष आहे.

लोह – निकेल मिश्र धातूच्या लघुत्तम प्रसरणक्षमतेच्या जवळपास प्रसरण–क्षमता असलेल्या लोह - निकेल मिश्र धातूना मी इन्व्हर पोलाद असे नाव दिले आहे. ३५.६ टक्के निकेल असणाऱ्या, लोह – निकेल पोलादाचा प्रसरण गुणांक १.२×१०^{-६} आहे.

– – – – –

इन्व्हर पोलादाविषयीचा आमचा हा शोध प्रसिद्ध झाला, त्यावेळी रशिया व स्वीडन या देशानी स्पिट्झबर्ग येथे पाठवलेल्या विज्ञान तुकडीचे नेतृत्व अेम्. जाडेरिन हा शास्त्रज्ञ करीत होता. स्पिट्झबर्गमध्ये जमिनीचे अचूक मापन करून उत्तर ध्रुव प्रदेशाचा नकाशा तयार करण्याचे काम जाडेरिनकडे होते. अत्यंत कमी प्रसरण गुणक असणारा मिश्र धातू तयार करता येतो हे समजल्यावर आपल्या कार्यात उपयोगी पडतील अशा तपमान बदल्यावरही लांबीत फरक पडणार नाही अशा प्रमाण तारा पाठवून देण्याची त्याने मला विनंती केली. माझ्या काही प्रयोगासाठी अशा तारा मी इंफी कारखान्यातून तयार करवून घेतल्या होत्या. तेव्हा जाडेरिनच्या कामात उपयोगी पडतील अशा इन्व्हर पोलादाच्या प्रमाण तारा मी त्याच्याकडे पाठवून दिल्या. त्या किती उपयुक्त ठरल्या हे त्याने मला लिहिलेल्या पत्रावरून समजून येईल.

१३ सप्टेंबर १८९९ रोजी लिहिलेल्या पत्रात जाडेरिन म्हणतो – " १८९९ मध्ये आपण पाठवलेल्या तारांच्या सहाय्याने स्पिट्झबर्ग येथे केलेले जमिनीचे मापन अत्यंत अचूक झाले. आम्ही १००२४ मीटर लांबी आपल्या तारांच्या सहा–य्याने मोजली. त्यानंतर गणित करुन पाहाता त्या मापनात फक्त १९मिलीमीटरची चूक असल्याचे आढळले. तपमान फरकाने तारेच्या लांबीत फरक होत नाही असे धरून आम्ही हे मापन केले होते."

जाडेरिनच्या या पत्राने उत्तेजित होऊन आम्ही आमचे प्रयोग मोठ्या उत्सा-हाने पुढे चालू ठेवले. १९०० मध्ये पॅरीसमध्ये भरलेल्या जिओडेटिक असोसिअेश–नच्या अधिवेशनात आम्ही मोठ्या अभिमानाने सांगून टाकले की, " आम्ही केलेल्या संशोधनामुळे लांबीचे मापन जास्तीतजास्त अचूक करता येईल अशी आम्हाला आता खात्री वाटू लागली आहे."

आमच्या संशोधनाच्या आधारे आम्ही तयार केलेले ठराविक लांबीचे प्रमाण माप १९०१ पासून भूमापनाच्या कामात वापरले जात आहे.

हे संशोधन करताना, मला अक्षरश: शेकडो, हजारो मिश्र धातूंच्या नमुन्यांची प्रसरण-क्षमता मोजावी लागली. ते करण्यात बराच वेळ खर्च झाला. पण आमचे परिश्रम व वेळ फुकट गेली असे वाटत नाही. इन्व्हर पोलादाच्या तारा करून, त्यांची लांबी मोजल्यावर, त्या गुंडाळून पाहिजे त्या ठिकाणी भूमापनासाठी पाठ–वता येतात व त्यांच्या लांबीत तपमान फरकाने बदल घडून येणार नाही याची खात्री देता येते.

संशोधनाचे परिणाम

अेक विशिष्ठ हेतू मनात ठेवून, कमीत कमी प्रसरण क्षमतेचा मिश्र धातू शोधून काढण्याचे गिलॅमिचे प्रयत्न यशस्वी झाल्याने, तपमान फरकाने लांबी बद–लायला नको अशा कित्येक गोष्टी सुलभतेने करता येऊ लागल्या. इन्व्हर पोला–दाच्या तारा भूमापनाच्या कामी किती उपयुक्त ठरल्या हे गिलॅमिच्या व्याख्यानात आले. इन्व्हर पोलादाची अचूक लांबीची उपकरणे सोडून दिल्यास, गिलॅमिचा शोध अेका वेगळयाच उद्योगधंद्यात वापरला जातो. लहान मोठया आकाराची घडयाळे बनविताना, त्यातील यंत्रसामुग्रीची लांबी, रुंदी व जाडी यात तपमान बदलले तरी फरक पडणार नाही या गोष्टीवर घडयाळे दाखवित असलेल्या वेळेच्या अचूकतेच्या दृष्टीने भर द्यावा लागतो. घडयाळांची बॅलन्स व्हील्स (ज्यावर घडयाळांची अचूकता अवलंबून असते ते चक्र) हल्ली सर्रास इन्व्हर पोलादाची तयार करतात. देशोदेशी वापरात असलेली लाखो घडयाळे, ही गिलॅमिच्या यशस्वी संशोधनाची अेक कायमची आठवण आहे. तसेच अचूक काल–मापनासाठी वापरात असलेल्या क्रोनोमीटरमध्ये गिलॅमिच्या अेलिन्व्हर पोलादाच्या केसासारख्या बारीक स्प्रिंग वापरलेल्या असतात.